

**CONGRESO NACIONAL
GESTIÓN DEL AGUA
EN CUENCAS DEFICITARIAS**

Orihuela 5, 6 y 7 de octubre de 2000



**CONGRESO NACIONAL
GESTIÓN DEL AGUA
EN CUENCAS DEFICITARIAS**

Orihuela 5, 6 y 7 de octubre de 2000



Edita:

Centro de Investigación del Bajo Segura «Alquibla»

I.S.B.N.:

84-608-0274-4

Dep. Legal:

Mu-588/2005

Impreso en España por Pictografía, s.l.

Carril de la Parada, 3 • 30010 Murcia • Telf.: 968 34 49 50

CON LA REALIZACIÓN DE ESTE CONGRESO, el Centro de Investigación del Bajo Segura Alquibla da cumplimiento a uno de los objetivos primordiales de esta asociación, cual es el propiciar el debate científico-técnico sobre temas de interés para la comarca, en este caso «Gestión del agua en cuencas deficitarias», cuya oportunidad y conveniencia trascienden con creces el espacio territorial del Bajo Segura.

El colectivo Alquibla, a partir de su creación en el año 1995, ha querido estar presente, desde una perspectiva investigadora y reivindicativa, en aspectos relacionados con la Historia, Cultura, Patrimonio y Medio Ambiente de este territorio. Es por ello que potenciar el debate sobre gestión y usos del agua nos pareció un tema de reconocido interés social y económico. No en vano, el agua ha sido un problema constante para los moradores del Bajo Segura, ya fuera por su afluencia en demasía, provocadora de inundaciones catastróficas, o bien por su pertinaz ausencia, causante de prolongados periodos de sequía.

Es evidente que los avances técnicos y las obras de ingeniería hidráulica han modificado sustancialmente estas carencias históricas. No obstante, en las postrimerías del siglo XX se siguen demandando soluciones en la cuenca del Segura, pues los caudales aportados hasta la fecha son insuficientes y la calidad de los mismos inadecuada, por lo que se hace necesaria la ordenación del territorio, así como de los recursos hídricos existentes. Por todo ello, hemos puesto grandes expectativas en las conclusiones de este intercambio científico, que esperamos proporcionen novedosas y útiles perspectivas para el espacio regado por el Segura, dado que, como es sabido, la disponibilidad de agua determina la capacidad de crecimiento de un territorio.

Por último, expresar nuestro agradecimiento a las instituciones, entidades y empresas que han hecho realidad este congreso, ya que sin su apoyo, para una asociación cultural sin ánimo de lucro como es la asociación Alquibla, hubiera sido imposible llevar a cabo debates y encuentros de estas características.

Remedios Muñoz Hernández

Presidenta del Centro de Investigación del Bajo Segura Alquibla

COMITÉ DE HONOR

ANDRÉS PEDREÑO MUÑOZ

Rector de la Universidad de Alicante

ANTONIO CERDÁ CERDÁ

Consejero de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia

ANTONIO FERRÁNDEZ SALA

Director de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad “Miguel Hernández”

ANTONIO NIETO LLOBET

Presidente de la Confederación Hidrográfica del Segura

BALDOMERO SEGURA GARCÍA DEL RÍO

Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante

FERNANDO RIQUELME BALLESTEROS

Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Murcia

JESÚS RODRÍGUEZ MARÍN

Rector de la Universidad “Miguel Hernández” de Elche

JOSÉ BALLESTA GERMÁN

Rector de la Universidad de Murcia

JOSÉ MANUEL MEDINA CAÑIZARES

Alcalde-Presidente del Ayuntamiento de Orihuela

JUAN RAMÓN MEDINA PRECIOSO

Rector-Presidente de la Universidad Politécnica de Cartagena

JULIO DE ESPAÑA MOYA

Presidente de la Diputación de Alicante

JUSTO NIETO NIETO

Rector de la Universidad Politécnica de Valencia

M^a. ÁNGELES RAMÓN-LLIN I MARTÍNEZ

Consellera de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana

REMEDIOS MUÑOZ HERNÁNDEZ

Presidenta del Centro de Investigación del Bajo Segura

COMITÉ CIENTÍFICO

ANTONIO GIL OLCINA

C.U. de Análisis Geográfico Regional. Director del Inst. Univ. de Geografía de la U.A.

EMILIO PÉREZ PÉREZ

Ex-Director General de Recursos Hidráulicos de la C.A. Región de Murcia. Ex-Presidente de la C.H. del Segura

ERNESTO HONTORIA GARCÍA

C.U. de Ingeniería Sanitaria de la U. de Granada

FRANCISCO CABEZAS CALVO-RUBIO

Subdirector General de Planificación Hidrológica del Ministerio de Medio Ambiente

GREGORIO CANALES MARTÍNEZ

Prof. T.U. de Geografía Humana. Inst. Univ. de Geografía de la U.A.

JOAQUÍN EZCURRA CARTAGENA

Director Técnico de la Confederación Hidrográfica del Segura

JOAQUÍN GRIÑÁN GARCÍA

Téc. Responsable de Saneamiento, Depuración y Abastecimiento de la Dir. Gral. del Agua. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Región de Murcia

JOSÉ EDUARDO TORRES SOTELO

C.U. de Ingeniería Hidráulica de la U.P.V.

JOSEP CARLES GENOVÉS

C.U. de Economía Agraria de la U.P.V.

JUAN MANUEL CARDENETE LÓPEZ

Prof. de Tratamiento de Aguas de la Universidad de Granada

JUAN MARCO SEGURA

C.U. de Ingeniería Hidráulica de la U.P.V.

PABLO MELGAREJO MORENO

C.E.U. de la U.P. Producción Vegetal de la U.M.H. de Elche

RAMÓN MADRID VICENTE

Prof. T.U. de Química Agrícola de la U. de Murcia

COMITÉ ORGANIZADOR

CONSUELO EGEA NICOLÁS

Licenciada en C.C. Químicas. Dpto. de Química Agrícola. U. de Murcia

EDUARDO G. RODRÍGUEZ CARMONA

Técnico de M.A. del Ayuntamiento de Orihuela (Alicante)

JOAQUÍN MELGAREJO MORENO

Prof. T.U. de la U.A.

JOAQUÍN PARRA RUÍZ

Prof. T.E.U. de la U.M.H.

JOSÉ JOAQUÍN MOYA ESQUIVA

Presidente de la Mancomunidad de Municipios de la Vega Baja del Segura

LLORENÇ AVELLÀ REUS

Prof. T.U. de la U.M.H. de Elche

MANUEL DE GEA CALATAYUD

Arqueólogo Municipal de Rojales (Alicante)

MIGUEL GIMÉNEZ MONTESINOS

Prof. T.E.U. de la U.M.H.

TRINITARIO FERRÁNDEZ VERDÚ

I.T.A. y Licenciado en C.C. Biológicas

SECRETARÍA TÉCNICA

FRANCISCA HERNÁNDEZ GARCÍA

Secretaria Técnica

ANTONIO RUIZ CANALES

Secretario Técnico

SECRETARÍA ADMINISTRATIVA

M^a. DOLORES TORREGROSA PIÑERO

Secretaria Administrativa

ARTURO DE LAS LIRAS NEBOT

Secretario Administrativo

Índice

| | |
|--|-----|
| ■ El déficit de agua en el Sureste Ibérico: una visión histórica <i>Antonio Gil Olcina</i> | 17 |
| ■ El agua en la antigüedad <i>José E. Torres Sotelo</i> | 45 |
| ■ Antecedentes históricos del trasvase del Júcar: la utopía hidráulica de la burguesía alicantina en el siglo XIX <i>Pedro Díaz Marín</i> | 49 |
| ■ La explotación del acuífero de Crevillente mediante la galería de los suizos <i>José Miguel Andreu; Antonio Estévez; Ernesto García-Sánchez; Antonio Pulido-Bosch</i> | 57 |
| ■ Balance hídrico bajo tres coberturas contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal distrito capital Santa Fe de Bogotá <i>Gonzalo de las Salas; Carlos García Olmos</i> | 63 |
| ■ Acequias de común y desarrollo sostenible: reflexiones desde la cuenta alta del Río Grande (Estados Unidos) <i>José A. Rivera; Luis Pablo Martínez</i> | 71 |
| ■ El Azud de Alfeitamí (XVI) y la reducción del almarjal en el tramo sur del río Segura (Almoradí) <i>Gregorio Canales Martínez; Remedios Muñoz Hernández</i> | 77 |
| ■ Evolución contemporánea de los aprovechamientos hidráulicos en la Región de Murcia <i>Joaquín Melgarejo Moreno</i> | 97 |
| ■ El agua sucia en el mundo romano <i>Antonio Méndez Ondina; Juan Carlos Hernández del Pozo; M^a. Carmen Rubio Gámez</i> | 105 |
| ■ La gestión de acuíferos en regiones áridas y semiáridas <i>Melchor Senent Alonso</i> | 111 |
| ■ Agua y territorio en regiones deficitarias. El caso del sureste español <i>Juan B. Marco Segura</i> | 119 |
| ■ El concepto de déficit y excedente hídrico desde la perspectiva de la Directiva Marco <i>Pedro Arrojo Agudo</i> | 131 |
| ■ Puesta en escena de cauces fluviales ocultos mediante la investigación geotécnica <i>Juan Carlos Hernández del Pozo; Antonio Menéndez Ondina; Isidro Ocete Ruiz</i> | 143 |
| ■ La ampliación constante del suelo industrial versus los perímetros huertanos tradicionales. Los problemas de ordenación de los espacios industriales de la Vega Baja del Segura <i>Eduardo G. Rodríguez Carmona</i> | 151 |

| | |
|--|-----|
| ■ Análisis de la calidad agronómica de las aguas de los azarbes Millanares-Mudamiento y Abanilla <i>Gómez Lucas, I.; Berenguer Giménez, L.; Ayguadé Cantó, H.; Navarro Pedreño, J.; Mataix Solera, J.</i> | 169 |
| ■ Evaluación de parámetros de calidad del agua del río Vinalopó <i>Gómez Lucas, I.; Brú Martínez, R.; Casado Vela, J.</i> | 173 |
| ■ El conflicto del uso del agua en el golf <i>Martínez Crespillo, M.; Legua Murcia, P.; Hernández García, F.</i> | 179 |
| ■ Tratamiento y reciclaje de aguas residuales en Torrevieja <i>Rocío Díez Ros.</i> | 183 |
| ■ Balance económico, hídrico y de biodiversidad en los regadíos proyectados de Monegros II. El territorio como restricción y potencial económico <i>Estrella Bernal Cuenca</i> | 191 |
| ■ Administración pública y comunidades de usuarios. La administración pública y la política de aguas de la Unión Europea <i>José Carles Genovés</i> | 203 |
| ■ Comunidades de usuarios de acuíferos sobreexplotados <i>Emilio Pérez Pérez</i> | 219 |
| ■ Una propuesta de guía para el estudio de la gestión del agua en comunidad de regantes <i>Amparo Merino de Diego; José Antonio Batista Medina.</i> | 233 |
| ■ De un turno convencional a un turno mejorado: análisis de los resultados de los cambios en la asignación y la distribución del agua en una comunidad de regantes de La Palma (Islas Canarias) <i>José Antonio Batista Medina</i> | 243 |
| ■ Un modelo intertemporal de explotación económica en régimen de monopolio de un embalse para riego <i>Pedro J. Cartagena Rocamora</i> | 251 |
| ■ La organización del riego en el regadío histórico de la Vega Baja del Segura. Desequilibrios, reformas y perspectivas <i>Carles Sanchís Ibor; Pascual Mancebo Serrano</i> | 265 |
| ■ El cálculo de necesidades hídricas a escala regional mediante la integración de una red de estaciones agroclimáticas y un SIG-SIAM <i>Erena, M.; Caro, M.; García, F.; García, P.; Barrancos, G.A.; García, J.; López, J.A.</i> | 273 |
| ■ Modelos locales de gestión de aguas subterráneas en el regadío valenciano <i>Marta García Mollá; Virginia Vega Carrero</i> | 279 |
| ■ Los tratamientos secundarios y terciarios en el reuso de las aguas <i>Ernesto Hontoria García</i> | 287 |
| ■ Gestión del agua en cuencas deficitarias <i>Antonio Nieto Llovet</i> | 293 |

| | |
|--|-----|
| ■ Abastecimiento de agua en cuencas deficitarias. Actuaciones posibles y problemas asociados <i>Daniel Prats Rico</i> | 297 |
| ■ Riego deficitario controlado en albaricoquero. Relaciones hídricas y producción <i>Alejandro Pérez Pastor; Arturo Torrecillas Melendreras; Rafael Domingo Miguel; M^a. Carmen Ruiz Sánchez</i> | 309 |
| ■ Estudio de la inoculación selectiva en los biofiltros para eliminación de nitrato de aguas subterráneas <i>M.A. Gómez; B. Moreno; M. Zamorano; A. Ramos; J.I. Pérez; F. Osorio; J. González-López</i> | 315 |
| ■ Influencia de la carga hidráulica sobre la eliminación de nitrógeno y materia orgánica de aguas residuales urbanas mediante lechos inundados <i>J.M. Gálvez Rodríguez; M.A. Gómez Nieto; M.F. Sáez Ortega; M.A. Zamorano Toro; J. González-López</i> | 323 |
| ■ La turba y la depuración de aguas residuales urbanas. Criterios de diseño <i>A. Ramos; M. Zamorano; M.A. Gómez; B. Moreno; J.I. Pérez</i> | 329 |
| ■ Efectos de microahoyado y minicuenas en la escorrentía y erosión de una plantación frutal en ladera <i>José Méndez García; M^a. Carmen Ruiz Sánchez; Rafael Domingo Miguel</i> | 337 |
| ■ Influencia de las condiciones microclimáticas sobre las tasas de transpiración en albaricoquero <i>Juan José Alarcón; Emilio Nicolás; Arturo Torrecillas; Rafael Domingo</i> | 343 |
| ■ Distribución de cultivos y consumos de agua en la zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín <i>J.A. García; P. Melgarejo; J.J. Martínez, R. Martínez-Font</i> | 349 |
| ■ Dotaciones de agua en la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín <i>J.A. García; P. Melgarejo; Fca. Hernández; R. Martínez</i> | 357 |
| ■ Descripción de las aguas de pozo en la Vega Baja del Segura, durante el periodo de sequía 1994-95 <i>J.J. Martínez; Fca. Hernández; J. Martínez; R. Martínez-Font; M.A. Oltra</i> | 365 |
| ■ Riego deficitario controlado en granado (<i>Punica granatum</i> L.). Identificación de periodos críticos <i>J.J. Martínez; P. Melgarejo; J. Trigueros; J.M. Cámara; A. Pérez Pastor</i> | 373 |
| ■ Eficiencia y productividad del agua en la hortofruticultura murciana <i>L. Avellá; P. Segura; C. Martínez</i> | 381 |
| ■ Influencia del estrés hídrico sobre el crecimiento y fisiología de especies frutales del “cerrado central brasileño” <i>Valeria Cristina Guimaraes Rabelo; Luiz Fernando Coutinho de Oliveira; M^a. Carmen Ruiz Sánchez; Rafael Domingo Miguel; Manuel Ruiz Marín; Alejandro Pérez Pastor</i> | 389 |

| | |
|---|-----|
| ■ Consumos hídricos en cultivo sin suelo, para pimiento dulce (var. Orlando) <i>Ramón Madrid, Mateo Boronat; Juan Martínez, Miguel Jiménez;</i> <i>Equipo Técnico del C.D.T.A.</i> | 395 |
| ■ Consumo de agua y evolución de determinados elementos nutritivos en la solución recirculante de un sistema NFT en cultivo de tomate <i>J. Martínez Tomé; F. López; A. Fernández; M.A. Oltra; F. Hernández; R. Martínez</i> | 401 |
| ■ Consumo de agua y producción en cultivo de tres variedades de melón tipo Galia en tres sustratos diferentes de cultivo sin suelo <i>J. Martínez Tomé; J. Pomares; M. Giménez; M.A. Oltra; J.J. Martínez; R. Madrid</i> | 407 |
| ■ Consumo de agua y producción en cultivo de tres variedades de melón tipo Charentais en tres sustratos diferentes de cultivo sin suelo <i>J. Martínez Tomé; J.C. Tornell; R. Madrid; R. Boronat</i> | 413 |
| ■ Contribución al estudio de la evolución del crecimiento del diámetro, altura y volumen del fruto de la palmera datilera (<i>Phoenix dactylifera</i> L.) respecto al riego suministrado en un vivero de la zona de Crevillente (Alicante) <i>R. Martínez Valero; R. Martínez Font; J.J. Martínez Nicolás; M. Sánchez</i> | 419 |
| ■ Contribución al estudio de las observaciones externas de flores y frutos coincidentes con los estados fenológicos internos de los frutos del naranjo cv. Salustiana (<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck) con respecto al riego suministrado <i>R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; J.J. Martínez Nicolás</i> | 425 |
| ■ Contribución al estudio de la relación entre el riego suministrado y la evolución de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de los frutos del naranjo cv. Salustiana (<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck) <i>R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; H. Gimeno</i> | 431 |
| ■ Contribución al estudio de la evolución de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de los frutos del mandarino cv. Satsuma (<i>Citrus unshiu</i> Marc.) con respecto al riego suministrado <i>R. Martínez Valero; R. Martínez Font; H. Gimeno; J. Martínez Tomé</i> | 439 |
| ■ Contribución al estudio de los estados fenológicos internos de los frutos del mandarino cv. Satsuma (<i>Citrus unshiu</i> Marc.) con relación al riego suministrado <i>R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; J.J. Martínez Nicolás</i> | 447 |
| ■ Consumo de agua en cultivo de tomate en dos sustratos diferentes. Influencia del aporte de CO ₂ <i>Consuelo Egea; Ramón Madrid; Antonio L. Alarcón; José A. Albuquerque</i> | 453 |
| ■ Influencia del potencial redox y del pH sobre la química del arsénico en agua de riego <i>Pedro Aracil; Yolanda Lario; Fabián Guillén; Francisco Burló; Daniel Valero;</i> <i>Domingo Martínez Romero; Angel A. Carbonell Barrachina;</i> <i>Ronald D. De Laune; Aroon Jugsujinda</i> | 457 |

| | |
|--|-----|
| ■ Caracterización hidrodinámica de un suelo semiárido <i>A. Ruiz Canales; J.M. Abrisqueta García; J.A. Franco Lehemuis; J.A. Plana Arnaldos</i> | 465 |
| ■ Uso de aguas salinas en el cultivo del tomate <i>M.A. Botella; M. Serrano; A. Amorós; F.M. del Amor; V. Martínez; A. Cerdá</i> | 475 |
| ■ El futuro de la desalación de aguas en España <i>Melchor Senent Alonso; David Martínez Vicente; Juan Manuel Cortejosa Olivo</i> | 483 |
| ■ Los costes de la desalación del agua de mar <i>David Martínez Vicente; Melchor Senent Alonso; Juan Manuel Cortejosa Olivo</i> | 493 |
| ■ Confederación Hidrográfica del Segura, infraestructuras hidráulicas más relevantes de los últimos 30 años <i>Joaquín Ezcurra Cartagena</i> | 511 |
| ■ Uso de residuos en depuración de efluentes de industrias conserveras <i>Osorio, F.; Gómez, M.A.; Pérez, J.I.; Moreno, B.; Zamorano, M.</i> | 519 |
| ■ Experiencias de aplicación de lechos inundados para la gestión de recursos hídricos en zonas semiáridas <i>Francisco Osorio Robles; Guillermo Saá Gamboa; Aliro Estay Low</i> | 525 |
| ■ Las condiciones de acceso a las redes en un entorno competitivo. Implicaciones para la puesta en marcha del “mercado de aguas” <i>Martín Sevilla Jiménez; Julián López Milla</i> | 531 |
| ■ Planta potabilizadora de agua de mar accionada por un reactor nuclear de 2,98 GWT <i>Martín Pérez Basanta</i> | 541 |
| ■ Embalses: una necesidad de la España seca <i>Hernández, F.; Melgarejo, P.; Martínez, J.J.; Carrillo, J.M.</i> | 547 |
| ■ La depuración de aguas con filtros inundados. Nuevos materiales <i>Zamorano Toro, M.; Gómez Nieto, M.A.; Moreno Escobar, B.; Osorio Robles, F.; Ramos Ridao, A.; Pérez Pérez, J.L.</i> | 553 |
| ■ Infraestructuras hidráulicas en comunidades de regantes <i>Hernández, Fca.; Martínez, J.; Martínez-Font, R.; Martínez, M.; Legua, P.</i> | 559 |
| ■ Evaluación de instalaciones de riego localizado en la Vega Baja del Segura <i>Abadía Sánchez, R.; Hernández Hernández, R.; Puerto Molina, H.; Ruiz Canales, A.; Ortega Alvarez, J.F.</i> | 565 |
| ■ Drenajes alternativos en pistas forestales <i>José Luis García Rodríguez; Juan Carlos Giménez; Ricardo García Díaz; José Elorrieta Jove</i> | 575 |
| ■ La reutilización de las aguas residuales. Experiencias en la provincia de Alicante <i>David Ribes</i> | 579 |
| ■ La demanda de agua en España <i>Martínez-Crespillo, M.; Legua Murcia, P.; Hernández García, F.</i> | 591 |

| | |
|--|------------|
| ■ Costes socioambientales de grandes proyectos hidráulicos en Oriente Medio | |
| <i>Majed Barakat Atwi; Pedro Arrojo Agudo</i> | 599 |
| ■ Los recursos hídricos de las cuencas españolas | |
| <i>Martínez Crespillo, M.; Legua Murcia, P.; Hernández García, F.</i> | 617 |

El déficit de agua en el Sureste Ibérico: una visión histórica

 **Antonio Gil Olcina**

Instituto Universitario de Geografía
Universidad de Alicante

Para ofrecer una visión histórica de los múltiples problemas arracimados en torno a la escasez de agua y de la serie de iniciativas para resolverlos o paliarlos, difícilmente puede escogerse mejor escenario que el sureste ibérico. Dicha región climática, cuyo rasgo esencial y definitorio es la aridez, conoce terribles sequías y pavorosas inundaciones; sin embargo, estas últimas, muy dañinas y con frecuencia mortíferas, revisten carácter esporádico, mientras el problema cotidiano es la escasez de recursos hídricos, derivada de la concurrencia de condicionamientos negativos tanto pluviométricos como hidrográficos e hidrogeológicos.

Las lluvias son, en efecto, exiguas, además de irregulares y con elevada concentración horaria; a ello se añade, junto con la fortísima indigencia estival, una evapotranspiración potencial que, como mínimo, duplica la precipitación media anual. Por su parte, la red hidrográfica no compensa, en modo alguno, la expresada insuficiencia, ya que fuera del río Adra y, sobre todo, del Segura, el resto de cursos son barrancos, ramblas y, en el mejor de los casos, ríos-ramblas; tampoco el aprovechamiento adicional de las unidades

hidrogeológicas, casi siempre rayano o incurso en la sobreexplotación, ha permitido enjugar un déficit que, según reconoce el propio *Libro Blanco del Agua*, en la cuenca del Segura posee carácter estructural.

En función de las capacidades técnicas y económicas de cada período se han producido actuaciones muy diversas para enfrentar el inconveniente: desde la adaptación al medio con cultivos de poca exigencia hídrica y riegos eventuales de turbias a la realización de las colosales infraestructuras hidráulicas de los Canales del Taibilla o el acueducto Tajo-Segura, sin olvidar, entre otras, la temprana construcción de pantanos, fracasados proyectos de trasvases, elevación de *aguas muertas* o la ingente movilización de recursos subterráneos. Al sureste pertenecen hitos sobresalientes de la historia hidráulica española y en él radican muchas de sus principales claves explicativas; baste recordar, aparte de las ya citadas, referencias de tanta significación como las de la Contraparada, Tiata, Tibi, Puentes o el abandonado Canal de Murcia.

Raramente se hallará otra región climática con un muestrario de sistemas de captación de aguas tan completo. Así, la utilización de turbias ha supuesto el

empleo, a veces combinado, de boqueras, terrazas, agüeras y presas de ladera. Para el riego con aguas vivas caballerías se construyeron azudes diversos y, pronto, presas de gravedad-arco y presas-bóveda de singular interés técnico; y para elevar dichos caudales, cuando el desnivel del terreno lo exigía, *alhataras*, cigoñales o *algaidones*, tahonas, norias de corriente, azudes o aceñas, norias de sangre, bombas de vapor y motobombas eléctricas son, entre otros, máquinas e ingenios de potencia y complejidad creciente, inseparables del secular y continuado esfuerzo por hacer más seguras, diversas y rentables las cosechas. En cuanto a la extracción de aguas subterráneas son de recordar, cimbres, *foggaras*, minados, presas subálveas, norias de tracción animal, molinos de viento y los sucesivos prototipos de bombas hasta las actuales de eje vertical y gran potencia, capaces de alcanzar freáticos a centenares de metros de profundidad.

De resaltar es que la gestión del agua resultó compleja y conflictiva en los ríos-ramblas alicantinos y murcianos, en torno a los cuales se articulan los grandes regadíos deficitarios históricos; esta situación tuvo origen primordial en la disociación de las propiedades del agua y tierra, que permitió la creación de mercados del agua, con un lucrativo tráfico de las mismas, cuyos principales beneficiarios fueron nobleza y clero; desamortizados los bienes de este último y suprimidos los mayorazgos, la burguesía asumió un papel preponderante en la titularidad de los derechos de agua; así pues, éstos fueron acaparados durante siglos, hasta el actual, por las sucesivas oligarquías del sureste ibérico.

Tampoco puede dejar de mencionarse la relación histórica entre grado de disponibilidad de agua y régimen de tenencia dominante de la tierra. Fuera de la explotación directa, en el regadío intensivo ha privado la tendencia a la renta fija (arrendamientos a rento o, en el censo enfiteutico, pensión de pechos o de pecho-partición de frutos), mientras en el secano se imponía el riesgo compartido a través de las medianerías y terrajes o de la partición de frutos en el canon enfiteutico;

estas formas jurídicas fueron asimismo las habituales en los regadíos deficitarios.

Por último, en esta apretada síntesis histórica es preciso citar dos episodios relevantes, aparte de los ya aludidos, en la historia hidrológica del sureste ibérico. Uno es la configuración del mayor regadío aleatorio y deficitario de España, con unas 50.000 hectáreas, mediante la elevación de sobrantes del Segura y *aguas muertas* de sus azarbes, actuación de la que fue gran protagonista, entre 1918 y 1922, la Real Compañía de Riegos de Levante. Y finalmente, una auténtica revolución copernicana supone la consideración de la rareza de precipitaciones, gran obstáculo de la agricultura tradicional, como una ventaja complementaria por la horticultura de ciclo manipulado, basada en la microirrigación, que ansía agua pero no la lluvia *in situ*, que acarrea serias dificultades a esta agricultura de vanguardia.

Precipitaciones y escorrentías

Como se ha indicado la región climática del sureste es la más seca de la península ibérica. Su rasgo esencial es la aridez, consecuencia primordial de precipitaciones exiguas y muy irregulares, con su eficacia mermada, además, por la extremada penuria estival, elevada concentración horaria y cuantiosa evapotranspiración potencial, que ronda o sube del metro, con casi 3.000 horas de sol anuales. Denominador común de los observatorios meteorológicos de la región es la poquedad de precipitaciones, cuyos totales anuales medios figuran entre los 120 mm de Cabo de Gata, más o menos según la serie o período escogido, y valores triples de otros que casi marcan el límite fuera del cual los climas secos ceden sitio a mediterráneos poco lluviosos. Las precipitaciones son, como se ve, pocas y los días en que se producen también, ya que no exceden de medio centenar, por doquier bajan de cuarenta y en algunos observatorios no pasan de veinte; menudean, por el contrario los días despejados y sin apenas nubosidad: Lorca (248 mm) es la “ciudad del sol”, en

el “serenísimo reino de Murcia”. Se registran, en síntesis, precipitaciones escasas y muy concentradas en el tiempo, fruto de contados chaparrones, en ocasiones de extraordinaria violencia.

Este régimen pluviométrico, que conjuga duras y prolongadas sequías con esporádicos aguaceros de elevada, y hasta singular intensidad horaria, resulta de la circulación atmosférica general, ubicación en la cuenca del mediterráneo occidental, trazado costero e incidencia del relieve. El sureste peninsular ocupa una situación meridional, periférica y a sotavento en la gran zona de flujo dominante del oeste; ello conlleva, máxime si se tiene en cuenta el bastión montañoso de la Cordillera Bética, que ocasionan efecto *foehn* sobre los vientos del oeste, una mínima repercusión pluviométrica de los mismos, suplantados por la subsidencia y altas presiones subtropicales en estío y, aún con cierta frecuencia, en las estaciones aledañas de primavera y otoño.

La parvedad de las precipitaciones se agrava por la elevada irregularidad interanual de las mismas. Los cocientes entre los totales del año más y menos lluvioso de las series en los distintos observatorios de la región no bajan del valor 4, abundan los que arrojan cifras entre 4 y 5, no faltan los comprendidos entre este último dígito y el coeficiente 10, y, por último, en algunos puntos y períodos, aparecen con denominadores prácticamente nulos, cocientes de orden casi infinito. Con la reducción de las alturas anuales medias de precipitaciones, se acrecienta su irregularidad interanual; otro dato de la mayor importancia radica en la elevada concentración horaria de aquéllas. Las precipitaciones máximas en 24 horas, y casi siempre en un intervalo bastante menor, de cada mes representan porcentajes muy considerables de la precipitación media anual; chaparrones de 25 a 50 mm en unas horas no son infrecuentes, más esporádicas resultan trombas de agua que arrojan el centenar de milímetros en menos de un día, cifra que, con períodos estadísticos de retorno centena-

rios, si bien puede repetirse el suceso en un breve intervalo real, puede ser ampliamente superada por aguaceros de excepcional intensidad horaria. En el lapso de unas pocas horas, puede excederse, duplicarse y, según parece en algún caso, hasta triplicarse la precipitación media anual. Sin infravalorar las consecuencias de estos colosales diluvios, sumamente dañinos y con frecuencia mortíferos, el problema esencial es, por el contrario, la penuria hídrica.

La insuficiencia de precipitaciones no queda compensada por la red hidrográfica. Fuera del río de Adra, derrame penibético, y, sobre todo del Segura, corriente de raigambre pluvionival oceánico-mediterránea, no hay en la región climática del sureste otros ríos alóctonos, los restantes cursos son, excepción hecha de alguna resurgencia cárstica copiosa en la montaña alicantina (Fuentes del Algar), barrancos, ramblas y ríos-ramblas (Amadorio, Monnegre, Vinalopó, Mula, Quípar, Guadalentín, Almanzora, Andarax). La expresión río-rambla no es, como pudiera pensarse, reciente; los musulmanes llamaron al Vinalopó *wad-arrambla*. En verdad, la denominación no puede resultar más apropiada y expresiva, ya que refleja el carácter híbrido de dichas corrientes, más identificadas, no obstante, con las segundas; de los ríos poseen el fluir continuo, de las ramblas su funcionamiento espasmódico, elevada irregularidad, desmesurados lechos ordinarios y fulminantes avenidas ¹.

Desnaturalizado y débil eco de los cursos mediterráneos, los ríos-ramblas, razón y fundamento de los grandes regadíos deficitarios del sureste peninsular, ofrecen los rasgos esenciales siguientes: débito exiguo, módulo específico ínfimo, bajo coeficiente de esorrentía, fortísima irregularidad interanual, máximos equinocciales, durísimos estiajes y fabulosas crecidas. En íntima relación con estos paroxismos fluviales, las aguas desmadradas arrastran ingentes cargas sólidas, depositadas luego en amplias llanuras y extensos conos aluviales, formas de relieve propicias al desarro-

(1) GIL OLCINA, A.: *La propiedad de aguas perennes en el sureste ibérico*, Alicante, Universidad de Alicante, 1993, pp. 23-32.

llo de dilatadas y exangües redes de riego. En torno a los ríos-ramblas se han articulado los grandes regadíos deficitarios tradicionales de la vertiente mediterránea española (Huerta de Alicante, regadío ilicitano, vega de Lorca, entre otros).

La degradación del régimen pluvial mediterráneo conlleva, a la par, merma de caudales e incremento de la irregularidad interanual. Escasa lluviosidad y elevado déficit de escorrentía motivan la pobreza de los ríos-ramblas, ninguno de los cuales, si descontamos algún período del Guadalentín en Puentes y al Almanzora, alcanza 1 m³/s. de caudal, con débitos relativos inferiores, salvo el aforo de Benejama (Vinalopó), a 1 litro/s/km². A la poquedad de precipitaciones se añaden, como factores negativos, para la indigencia de estos cursos, cuantiosa evapotranspiración potencial, pérdidas por infiltración y consumo de riegos, principalmente; detracciones que se traducen en coeficientes de escorrentía menores de 0'15 en sus valles medios e inferiores. Característica generalizada de los ríos-ramblas es su pronunciadísima irregularidad interanual, trasunto de la que sufre el régimen de precipitaciones, principalmente por la incidencia de intensas y largas sequías, fenómeno que afecta también al caudal de los manantiales y disminuye, en consecuencia, su influencia moderadora. Pero ni siquiera coeficientes de irregularidad interanual elevadísimos, incluso infinitos, con años de circulación nula o inapreciable, revelan de manera suficiente el comportamiento de los ríos-ramblas, cuyo prototipo es el Guadalentín. Es preciso indicar lo que un mes, un día e incluso unas horas pueden suponer en la historia hidrológica de un cuarto de siglo. En Puentes, para 1941-90, el volumen aportado por los ríos Vélez y Luchena en un día ha excedido la décima parte del total circulado el año respectivo catorce veces, y en ocho de ellas superó el 20%².

Las cabeceras de los ríos-ramblas surestinos se hallan en sierras que no sobrepasan 1.500 m, y por ello, niviosidad e innivación no influyen en sus regí-

menes, que pueden ser definidos, sin restricción ni reserva alguna, como pluviales semiáridos mediterráneos. Regímenes tan extremadamente irregulares ofrecen gráficas con coeficientes mensuales cambiantes de uno a otro período de seis lustros, aunque siempre aparecen como características básicas el pronunciadísimo descenso estival y los máximos de otoño y primavera, si bien la primacía de éstos varía según la serie de aforos considerada; no hay, de todos modos, riesgo en concluir que, de manejar un período suficientemente amplio como para el cálculo fiable de los intervalos de retorno de las grandes avenidas, el pico principal quedaría fijado en otoño y más concretamente en octubre, mes que concentra, en fuerte medida, las riadas más poderosas.

No siempre es preciso el habitual aprovechamiento exhaustivo de los ríos-ramblas para que sus lechos ordinarios queden secos, basta, en ocasiones, la combinación acumulativa de la penuria estival del régimen mediterráneo y de las durísimas sequías inherentes a su degradación subárida para que los estiajes extremos resulten ínfimos y nulos. En notorio y abierto contraste con ello, esporádicamente se gestan desmesurados aluviones, en los que con lluvias muy copiosas de gran intensidad horaria, como factor primordial, coadyuvan trazados propicios de las redes afluentes, frecuentes encajamientos, que retardan el aplastamiento de las ondas de crecida, acusada pendiente de amplios sectores de las superficies vertientes y coberturas vegetales muy degradadas; es frecuente, además, que las cabecezas revistan rasgos de verdaderas cuencas de recepción torrenciales, al tiempo que tributarios próximos y de parecida longitud sincronizan peligrosamente sus aportaciones. Entre las grandes riadas del siglo actual, sobresalen las de Nogalte-Guadalentín y Almanzora el 19 de octubre de 1973, 20 de octubre de 1982 en el Barranco de las Ovejas (Alicante) y la del Monnegre el 5 de noviembre de 1987.

Las catastróficas inundaciones de 19 de octubre de

(2) GIL OLCINA, A.: "El régimen del río Guadalentín", *Cuadernos de Geografía*, 1968, nº 5, pp. 1-15.

1973, que ocasionaron enormes daños y más de un centenar de víctimas en las cuencas del Guadalentín, Almanzora y Adra, fueron motivadas por lluvias de fuerte violencia; es de destacar la localidad almeriense de Zurgena, que recogió 600 mm en tan sólo tres horas, con la particularidad de que 420 mm cayeron, como una auténtica catarata, entre las 13 y 14 horas de ese 19 de octubre³. Los máximos instantáneos estimados para Guadalentín y Almanzora fueron 2.050 m³/s y 3.000 m³/s, respectivamente. Mayor aún fue la riada de “Santa Teresa”, la mayor de que hay noticia histórica para Guadalentín y Segura, acaecida del 14 a 15 de octubre de 1879; tuvo por causa, en palabras de Pardé, “*uno de los diluvios más mortíferos de los anales hidrológicos europeos*”. A tenor del informe de los ingenieros comisionados, que parece fidedigno, la precipitación media, durante al menos una hora, sobre algún punto de la cabecera del Guadalentín, habría resultado de 10 mm/minuto; sería éste un valor prácticamente límite, aunque no me atrevería a decir imposible de superar⁴. Masachs admite para esta crecida un máximo de 4.000 m³/s en Puentes, aforo donde el módulo del río ronda 1 m³/s⁵.

Los ríos-ramblas transportan de manera intermitente y esporádica, con ocasión de sus furiosas avenidas, enormes volúmenes de sedimentos. Un conjunto de factores convierten los desaforados aluviones en auténticas coladas fangosas; las condiciones climáticas, los sistemas de pendientes, la abundancia de materiales deleznable y la intensa degradación de la cobertura vegetal amplían mucho la carga límite y permiten enormes acarreos. Baste señalar que las ablaciones del perfil edáfico pueden sobrepasar, en los aguaceros más violentos, la media de un milímetro en toda la superficie afectada; sustracciones de esta entidad suministran cuantiosos aportes sólidos a corrientes de agua capaces, merced a la enormidad de los módulos, pronun-

ciadas pendientes y profundos cañones, de transportar, en suspensión, salteamiento y rodadura, cantidades ingentes de materiales de muy diverso tamaño, al resultar grandemente potenciada la competencia de aquéllas. Ejemplo prototípico proporciona la rambla de Nogalte, perteneciente a la red del Guadalentín, nombre que significa literalmente “río de fango”; con una cuenca de sólo 139 km² llevó el 19 de octubre de 1973, un máximo instantáneo estimado en 1.974 m³/s, de los cuales 813 m³/s eran aporte sólido. Recuérdese asimismo como referencias significativas los terraplenamientos de los reservorios surestinos (Relieu, Elche, Valdeinfierno, tercera presa de Puentes).

Ocioso resulta encarecer que estos procesos erosivos motivan dilatados arramblamientos, traducidos en diversas formas de relieve, primordialmente llanos y abanicos aluviales. De los primeros destaca la depresión prelitoral murciana, verdadero campo de inundación del Guadalentín y su sistema afluente, con acequias musulmanas enterradas a ocho metros de profundidad; entre los segundos sobresale el cono aluvial del Vinalopó, con casi seis kilómetros de generatriz. En uno y otro caso, se trata de superficies con fácil transformación en regadío, pero con demandas hídricas superiores a los débitos habituales de los respectivos ríos-ramblas, desproporción que ha generado enormes regadíos deficitarios, donde el agua ha constituido, disociada de la tierra, la propiedad más apetecida y valiosa⁶.

Adaptación de cultivos al régimen pluviométrico y aprovechamiento de turbias

La escasez de lluvias, que no la de agua, ha terminado por constituir una ventaja adicional y complementaria para la horticultura de ciclo manipulado, pero ha representado y supone el gran problema de

(3) CAPEL MOLINA, J.J.: “Génesis de las inundaciones de octubre de 1973 en el sureste de la Península Ibérica”, *Cuadernos de Geografía de la Universidad de Granada*, 1974, nº 4, pp. 149-166.

(4) COUCHOUD SEBASTIÁ, R. y SÁNCHEZ FERLOSIO, R.: *Hidrología histórica del Segura*, reed., Murcia, 1984, p. 68.

(5) MASACHS ALAVEDRA, V.: “El Clima. Las Aguas”, *Geografía de España y Portugal*, Barcelona, Montaner, II, p. 102.

(6) GIL OLCINA, A.: *Op. cit.* 1.

la agricultura y cultivos tradicionales⁷. Para atenuar esta grave limitación se han producido en el transcurso del tiempo una serie de iniciativas más o menos complejas y ambiciosas en función de las posibilidades técnicas y económicas de cada época. La más antigua y sabia fue la simple adaptación al régimen pluviométrico mediante la selección de cultivos y la consecución, ya fuese de un río-rambla, barranco o rambla, de un aporte suplementario de agua que garantizase la cosecha⁸. Aquéllos fueron escogidos, junto a su capacidad alimenticia, por sus reducidas exigencia hídricas, como es el caso señalado de vid, olivo y algarrobo o porque, además de requerir poco agua, su ciclo resultaba acorde con el ritmo estacional de las precipitaciones, tal y como sucede, primordialmente, con los cereales de invierno, ya que las lluvias de otoño y primavera resultan cruciales para su desarrollo. Al respecto, es de subrayar que, en primer lugar, hasta la consecución de un mercado agrario nacional, con la mejora de las comunicaciones, ya en el siglo actual, la preocupación esencial era el logro de la cosecha cerealista, durante siglos o milenios, la base de la alimentación. Así lo expresan, por ejemplo, un dicho, recogido por Viciana⁹, que reza: “*¡Llueva o no llueva, trigo en Orihuela!*”, aludiendo a la garantía de cosecha que proporcionaban las aguas del Segura; y en idéntico orden de cosas, la preocupación y propósito por contar con un mercado agrario nacional que manifiestan entre otros, Ensenada¹⁰, en 1751, y un siglo después Rico y Sinobas¹¹.

Ese anhelo por asegurar la cosecha cerealista, paliando la insuficiencia e irregularidad de la lluvia, motivó tempranamente elementales realizaciones para

procurar a las tierras el riego continuo o eventual; este último mediante el aprovechamiento de turbias o aguas de avenida¹².

Los regadíos de turbias, aceleradamente abandonados o, en el mejor de los casos, transformados durante esta segunda mitad de siglo, conservan todavía hoy una impronta paisajística muy superior a su menguada o nula trascendencia económica, que antaño fue considerable; constituyen, en la región climática del sureste peninsular y tierras aledañas, insuperable testimonio de la secular y sabia adaptación a un régimen de precipitaciones escasas, proporcionadas, además, en gran medida, por aguaceros de fuerte intensidad horaria, que esporádicamente, sobre todo en otoño y primavera, originan fugaces mantos pluviales y riadas, captadas parcialmente mediante boqueras, terrazas, agüeras y presas de ladera; sin que falten asociaciones de estos sistemas, en especial de los primeros, que revistieron, con notoria diferencia, una mayor difusión e importancia. Se pretendía, en suma, evitar que en un breve período de tiempo circularan, sin provecho alguno o con daño, por ramblas, barrancos y ríos-ramblas, caudales de vital interés para asegurar la cosecha cerealista o cubrir las reducidas necesidades de una arboricultura de escasas exigencias hídricas. A finales del siglo XVIII Cavanilles ofrece de las referidas prácticas en tierras alicantinas el testimonio siguiente: “*Quien ignore ser suma la escasez de agua en aquella parte del reyno, y que a veces un solo riego basta para asegurar y aumentar las cosechas, extrañará ver salir a los labradores hacia sus haciendas quando empieza a tronar, o amenaza alguna tempestad: los truenos que en otras partes sirven para retirarse a sus habitaciones, lo son aquí para desampararlas y salir en busca*

(7) GIL OLCINA, A.: “Aridez, riego localizado y agricultura de vanguardia en el litoral murciano de Águilas”, *Los paisajes del agua*, Valencia, Univ. de Valencia y Alicante, 1989, pp. 213-222.

(8) VILÁ VALENTÍ, J.: “La lucha contra la sequía en el SE. Español”, *Estudios Geográficos*, 1961, nº 82, pp. 25-48. MORALES GIL, A.: “El riego con aguas de avenida en las laderas subáridas”, *Papeles del Dpto. de Geografía*, Universidad de Murcia, I, 1968-69, pp. 169-183.

(9) VICIANA, M. De: *Crónica de la ínclita y coronada ciudad de Valencia*, 1564 (reimpresión facsímil, Valencia, 1972), III, p. 339.

(10) HELGUERA QUIJADA, J.: “Aproximación a la historia del Canal de Castilla”, *El Canal de Castilla*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 1988, pp. 18-19.

(11) RICO y SINOBAS, M.: *Memoria sobre las causas meteorológico-físicas que producen las constantes sequías de Murcia y Almería, señalando los medios de atenuar sus efectos*, Madrid, 1851, pp. 352-358.

(12) MORALES GIL, *Op. cit.* 8.

de las aguas y deseado riego: se fecundan entonces los olivos, higueras, almendros, viñas y algarrobos; el suelo entero se mejora con el cieno que traen las aguas”¹³.

Los **riegos de boquera**, que han conocido en esta segunda mitad de siglo un proceso muy rápido de abandono y desorganización, revistieron antaño gran importancia en la región climática del sureste ibérico. En este caso, la derivación lateral de las aguas de crecida se realiza mediante la construcción, en el lecho de la rambla o río-rambla, de un dique que desvía, por un canal, parte del caudal hacia las tierras alledañas; el conjunto de este dispositivo recibe, por extensión, el nombre de boquera¹⁴. Salvo que se trate de una boquera de utilidad pública, el muro no limita el cauce en toda su anchura, de modo que las propiedades situadas aguas abajo no queden excluidas del aprovechamiento de turbias.

El empleo de boqueras es muy antiguo, cuando menos romano, tal y como atestigua inequívocamente la presencia del *signinum opus* en algunas de ellas¹⁵. Dicho sistema de riego fue consolidado y difundido por los musulmanes, quienes, por ejemplo, lo aplicaron a gran escala en el Guadalentín, río-rambla en el que instalaron un notable dispositivo de distribución de aguas de avenida¹⁶. En el Repartimiento de Murcia se mencionan las “*taffullas que se reguen dalfayt*”¹⁷, menos estimadas que las tierras con tanda de agua perenne, pero notoriamente más que las de secano.

Como se ha indicado, terrazas y boqueras constituyen, independientes o asociadas, los procedimientos primordiales del regadío de turbias. Obviar o, al menos, atenuar las dificultades topoecológicas de las laderas subáridas ha requerido denodado e ímprobo esfuerzo plurisecular, plasmado en la construcción de

un paisaje de aterrazamientos en graderío. De este modo, en periodos de sobrepoblación económica, sin otros horizontes de trabajo, merced, a mano de obra abundante y extremadamente barata, fueron reducidos a cultivo espacios enteramente marginales para la agricultura. El aspecto de las terrazas es vario, no sólo por sus dimensiones y destino, con las más estrechas reservadas exclusivamente a la arboricultura, sino por las propias características de los muretes que las cierran, realizados con técnicas diferentes y, en función del roquedo, materiales distintos. Ya se ha indicado la frecuente asociación de terraza y boquera; ésta puede desembocar en la superior de una gradería de las primeras y el agua pasa de una a otra tras rebasar el escalón del sangrador respectivo.

A pesar de una importancia relativa muy inferior a la de terrazas y boqueras, son asimismo dignas de mención las agüeras, cauces perimetrales que concentran la escorrentía de los relieves circundados, a veces con su avenamiento intensificado por una red de pequeños canales que afluyen directa o indirectamente a aquéllas. Mucho menos frecuentes son las presas de ladera, reservorios elementales, configurados mediante un robusto caballón de tierra adosado a la ladera, para almacenar los mantos pluviales que descienden por ella.

Los regadíos de turbias, que experimentaron una fuerte expansión con motivo de las grandes roturaciones dieciochescas, han sido mantenidos con esmero hasta mediados del siglo actual. Desde entonces el éxodo rural ha tenido funestas consecuencias para aquéllos, que han sufrido un proceso acelerado de abandono y desorganización. Rotas las hormas o motas, que retenían suelo y agua en las terrazas, crecen, en temible contrapartida, arrastre de suelo y coe-

(13) CAVANILLES, A. J.: *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del reyno de Valencia*, Madrid, Imp. Real, 1975-1797, II, p. 524.

(14) MORALES GIL, *Op. cit.* 8.

(15) MORALES GIL, A., BOX AMORÓS, M. y MARCO MOLINA, J.A.: “El medio físico y la presa de Román (Jumilla): un emplazamiento favorable”, *Investigaciones Geográficas*, 19, nº 9, pp. 69-80.

(16) GIL OLCINA, A.: *El Campo de Lorca*, Valencia, Dpto. de Geografía e Inst. “Juan Sebastián Elcano” del C.S.I.C., 1971, p. 119.

(17) TORRES FONTES, J.: *El Repartimiento de Murcia*, Madrid, C.S.I.C., 1960, p. 19.

ficientes de esorrentía, aumentando así las coladas fangosas que esporádicamente circulan por ramblas, barrancos y ríos-ramblas, con la mayoría de sus antiguas boqueras cerradas o destruidas.

Azudes y foggaras

La polémica maniquea sobre el origen romano o árabe de los regadíos hispanos ha quedado, en gran medida, superada. Restos arqueológicos y toponimia atestiguan la importancia del regadío hispanorromano en las fachadas este y sureste de España, sin perjuicio de que los musulmanes fueran los creadores de algunos de notable extensión, como es señaladamente el caso de la Huerta de Murcia, y ampliaron otros de la época precedente, tal y como pudo suceder en el regadío ilicitano o la vega de Lorca. De resaltar es que, en uno y otro caso, se trata, al margen del aprovechamiento de turbias, de aguas fluyentes derivadas lateralmente, por una y otra margen, mediante presas de poca alzada, conocidas con la denominación árabe de azudes.

Con aguas fluyentes, los azudes han constituido los dispositivos básicos de articulación de los grandes regadíos tradicionales del sureste ibérico, con la dualidad de origen señalada. Así, parece que puede admitirse, sin riesgo, la existencia, en época romana, sin perjuicio de una importante ampliación por los musulmanes, de la vega de Lorca, a cuyo sistema de riego se refiere al-Himyari en los términos siguientes: *“Este río (Guadalentín) posee en la región de Lorca dos lechos diferentes, uno más elevado que otro: cuando se necesita regar la parte más alta del país, se eleva el nivel del río por medio de esclusas, hasta que alcanza su lecho superior; entonces se pueden utilizar sus aguas para regar”*¹⁸. En cambio, se debe a los segundos la

Huerta de Murcia, ciudad fundada en el siglo IX; el famoso azud de la Contraparada, del que arrancan las acequias mayores, ha sido arruinado varias veces por las avenidas del Segura, y otras tantas rehecho. Es de resaltar que los azudes permiten, por gravedad, el riego de las tierras situadas en el llano de inundación del río, pero no las de sus terrazas, que precisan elevación; para ello se recurrió a la instalación de norias de corriente, azudas o aceñas.

Caro Baroja señala que la invención de las ruedas hidráulicas debió producirse en las márgenes del Mediterráneo Oriental, *“sin que pueda reconstruirse de modo muy seguro el proceso de difusión, a través de los pocos datos conservados en los escritores griegos y latinos”*¹⁹. Puede afirmarse, sin embargo, que las ruedas de corriente fueron patrimonio de los hispanorromanos tanto en la Bética como en la Cartaginense, en cuyos territorios perduraron y alcanzaron máxima implantación durante el período musulmán²⁰. En la fachada este de España las hubo, casi seguro, en todos los grandes regadíos históricos, si bien la mayor densidad correspondió a la cuenca del Segura, sobre todo en las huertas de Murcia, Orihuela y Lorca. Generalizada la denominación de norias fluviales, ésta no siempre es exacta, puesto que la mayoría, más que de los ríos, tomaban agua de acequias mayores y brazales; con el tipo de ubicación guardan relación los diámetros, que oscilan entre los 13 y 9 metros para las situadas sobre el Segura, dimensión esta última que no sobrepasan las colocadas en acequias madres, con radios generalmente superiores a tres metros, que sólo reducen las radicadas en acequias menores o arrobas²¹. Notorias por su espectacularidad y belleza, no puede extrañar que las norias de corriente fuesen celebradas por poetas y mencionadas con admiración por cronistas propios y extraños. Citadas ya en las *Etimologías* de San Isidoro

(18) AL-HIMYARI: *Kitab ar-Rawd Al-Hitar*, Valencia, Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Zaragoza, Aragón y Rioja, 1963, p. 343.

(19) CARO BAROJA, J.: “Norias, azudas y aceñas”, *Rev. Dialéctología y Tradiciones Populares*, C.S.I.C., 1954, X, cuadernos 1º y 2º, pp. 30-31.

(20) CARO BAROJA, *Op. cit.* 19. COLIN, G.S.: “L’origine des norias de Fés”, *Hespéris*, 1933, XVI, pp. 156-157. TORRES BALBÁS, L.: “Las norias fluviales en España”, *Al-Andalus*, 1940, V, pp. 195-208.

(21) GIL OLCINA, A.: “Riegos mediante elevación de aguas superficiales en la fachada este de España”, *Estudios Geográficos*, 1990, nº 199-200, p. 459.

de Sevilla (570-636), aparecen en numerosos textos árabes, en los repartimientos de la conquista cristiana y en documentos y obras posteriores de muy diversa índole. Entre esa multitud de referencias se incluyen las del viajero y geógrafo árabe del siglo XI Ibn'Abd al-Himyarí, quien, en su descripción del regadío lorquino, asegura que “*en diversos puntos hay sobre el río (Guadalentín) mismo norias que sirven para el riego de jardines*”²². Afirma también que “*no se riega con el agua del río de Murcia (Segura), aparte de lo que se hace con estos dos canales (las acequias mayores que arrancan del azud de la Contraparada), más que por medio de ruedas elevatorias llamadas «daw-lab y saniya»*”²³.

Solución individual o localizada para parcelas por encima de los cauces de riego fue el empleo del cigoñal, fundamento del riego conocido con el arabismo de *alhatara*²⁴; según Steiger, la voz *alhatara* (*al-jattara*) designa la clase de riego realizada con “*una pértiga enejada sobre un pie en horquilla, con una vasija atada a un extremo*”²⁵. En contraste con el uso raro, tras la conquista cristiana, del citado arabismo, es bastante repetido, tanto en el repartimiento de Murcia como en documentación posterior, su sinónimo de *algaidón* o *algaidonares*; según Torres Fontes, *algaidón* proviene de la raíz *gâd* y hace referencia a la escasez de agua e implícitamente a la dificultad adicional de su elevación. Término equivalente a los anteriores, que acabó por imponerse y perdurar, es el de cigiueñal o cigoñal, presente ya también en el Repartimiento de la Huerta y Campo de Murcia, donde uno de los pobladores recibe una extensión suplementaria de 4,5 tahúllas en atención a que “*alguna parte de su suerte se riega de çegunnal, et fue peor suerte que los otros*”²⁶. Un peón hábil podía, según Llauradó, elevar 22 m³ por hora a un metro de altura, si bien el volumen movili-

zado por término medio no superaba los quince metros cúbicos²⁷.

Carácter más puntual, aunque en modo alguno des-
deñable, tuvo la utilización de aguas subterráneas, captadas mediante *foggaras*, presas subálveas, cimbres y norias de sangre. Especial importancia revistieron los primeros, similares a los *qanats* iraníes, y de las que restan algunos prototipos excelentes, como la *Font Antiga* de Crevillente, y las segundas, norias de tracción animal para el aprovechamiento de mantos freáticos someros. Presa subálvea famosa, de origen árabe, fue la construida bajo el lecho ordinario del Guadalentín a la altura de Lorca, que alimentaba la Fuente del Oro, situada en una excavación en su margen derecha, con un caudal de 20-25 l/s. Por su parte, también los cimbres captaban agua de acuíferos poco profundos y la conducían a cielo abierto; recuerdo de su existencia ha quedado, incluso, en la toponimia, ya que no faltan parajes o fincas rústicas con la denominación de El Cimbre.

Disociación de agua y tierra

La configuración del agua como propiedad autónoma e independiente de la tierra en los regadíos alicantinos y murcianos deficitarios, así como en el Bajo Almanzora, guarda íntima relación con los condicionamientos pluviométricos e hidrográficos, si bien éstos no han determinado ni producido la separación. Subrayemos que ambos dominios estuvieron unidos por doquier en época musulmana, y el nexo ha perdurado en la mayoría de las vegas almerienses, ubicadas en el corazón de la región climática del sureste. Ello supone prueba irrefutable de que dichos condicionamientos no constituyen, en modo alguno, causa necesaria de la expresada disociación, aunque sí su premisa indispen-

(22) Al-Himyarí, *Op. cit.*, p. 342.

(23) Al-Himyarí, *Op. cit.*, p. 348.

(24) DOZY, R.: *Supplément aux dictionnaires arabes*, Beirut (1881), 1968, pp. 382-383.

(25) STEIGAR (Toponimia árabe de Murcia, pp. 12-13), cit. Torres Fontes, 4, p. 39.

(26) TORRES FONTES, *Op. cit.* 17, p. 39.

(27) LLAURADÓ, A.: *Tratado de aguas y riegos*, Madrid, Imp. de Moreno y Rojas, 1884, 2ª. ed., I, p. 338.

sable; el referido proceso no puede justificarse únicamente por la escasez del agua, pero sin esa limitación carecería de sentido²⁸.

El agua viva o perenne acabó separada de la tierra en los ríos-ramblas indicados a través de un proceso desarrollado con posterioridad a la conquista cristiana, cuyos repartimientos mantuvieron la adscripción de la primera a la segunda, “*así como la solían aver los moros en el so tempo*”. En consecuencia, el uso de los débitos teóricos o porciones alicuotas del módulo continuó sujeto a riguroso entandamiento, y el tiempo de disfrute de los mismo, cada vez o turno, se determinó de modo proporcional a la superficie beneficiada; perduraba así una ancestral servidumbre del agua respecto de la tierra.

La transformación del agua en propiedad independiente no fue coetánea en los grandes regadíos deficitarios; todos conocieron, empero, como antecedente obligado de aquéllas cesiones onerosas de turnos de uso mediante venta o puja. Tampoco el grado de separación de tierra y agua revistió igual intensidad; ésta resultó máxima en la vega lorquina, donde desaparecido todo vestigio de la extinguida unión de ambos dominios, tempranamente el único medio de acceder al riego fue la subasta, mientras en el regadío ilicitano dicha forma y el turno de tanda coexistieron hasta 1891, y alcanzaron esta segunda mitad de siglo en la Huerta de Alicante. Las tandas o martavas, instituidas para establecer el turno de riego de las distintas heredades, acabaron prestando fundamento a la distribución de utilidades reportadas por la subasta diaria o, en algún caso, al arrendamiento del agua, en la medida que los tandistas dejaban de usar aquélla, para vender su vez, convirtiéndose en rentistas y haciendo del riego granjería. Consisten las pertenencias de agua en el derecho al disfrute periódico de una corriente fluvial o alumbramiento, durante determinado tiempo, con uso o venta del caudal. En consecuencia, referencias básicas eran el gasto teórico asignado, lapso de aprovecha-

miento e intervalo de la tanda. Como se ha indicado, las pertenencias de agua representan el derecho al disfrute periódico de un caudal nominal durante un período determinado de tiempo. Las divisiones de éste, el procedimiento para establecerlas o una medida de superficie prestan nombre a aquéllas²⁹.

A igualdad tanto de módulo como de tiempo en cada turno, la frecuencia de éste influía decisivamente en la cotización de los derechos de aguas. De ahí la gran trascendencia de los intervalos a que se hallasen sujetos los tandistas para regar, subastar o arrendar el agua. Contadas fueron las tandas que no experimentaron modificaciones en el transcurso de los siglos, con tendencia generalizada al alargamiento por incorporación de nuevos derechos de agua. La creación de éstos obedeció, casi siempre, a la finalidad de allegar fondos para obras hidráulicas, mantenimiento de las redes de riego o pago de impuestos. Dicho arbitrio evidencia, de una parte, el singular aprecio de las porciones de agua, y la fuerte demanda a que se hallaban sometidas, y, de otra, la mediatización de su dominio por ciudades o villas como administradoras de caudales fluviales; contra decisiones concejiles de la expresada naturaleza, los dueños o interesados en aguas vivas, a la postre triunfantes, sostuvieron numerosos pleitos. Los ejemplos de distanciamiento de los turnos menudean, si bien tampoco faltan cosos de multiplicación de las porciones de agua sin necesidad de aquél. Así, para afrontar los susodichos gastos, la ciudad de Lorca optaba por hacer *fallas* en la tanda (interrupción más o menos prolongada en la percepción de las rentas de agua por los dueños de pertenencias) o, como alternativa, por un peculiar aumento de porciones que respetaba escrupulosamente la vez, si bien fraccionaba el débito circulante en un mayor número de parte alícuotas, con rebaja proporcional de su perfil (*sisas de porciones*).

Este incremento de porciones, por razones de interés común, en los grandes regadíos deficitarios del sureste peninsular, así como la realización de *fallas* en

(28) GIL OLCINA, *Op. cit.* 1, p. 175.

(29) GIL OLCINA, *Op. cit.* 1, pp. 60-64.

dos de ellos (Lorca y Elche), evidencian la precariedad y limitaciones en la propiedad y dominio privado de las aguas vivas de los ríos-ramblas alicantinos y murcianos; sin embargo, los expresados derechos se afianzarían y reforzarían con la revolución liberal y, sobre todo, desde la inscripción, a partir de 1863, en íntima conexión con aquélla, de las citadas pertenencias en los registros de la propiedad. El patriciado urbano y las instituciones más relevantes acumularon los derechos del agua. A causa de ello, su mercado se redujo mucho, a partir del siglo XVI, en la medida que se multiplicaban vinculaciones a mayorazgos y amortizaciones de manos muertas eclesiásticas (cabildos y conventos) y civiles (concejos). El proceso de acaparamiento por los estamentos privilegiados fue particularmente activo entre los siglos XVI y XVIII; al finalizar este último, las porciones de agua libres eran contadísimas; el grueso pertenecía a mayorazgos y, a considerable distancia, se hallaban interesadas manos muertas eclesiásticas y corporaciones públicas. De ahí las amplias y notables repercusiones de la supresión de mayorazgos y legislación desamortizadora, aunque sus consecuencias no fueron equiparables; en efecto, la anulación del mayorazgo, a diferencia de las disposiciones desamortizadora, no implicaba la transformación de los bienes amayorazgados en nacionales ni imponía su venta. De ahí que la transferencia de los derechos del agua procedentes de mayorazgos se dilatase mucho más tiempo que la de bienes declarados nacionales; en íntima relación con ello, es de notar que, a comienzos del siglo actual, los principales dueños de aguas en los grandes regadíos deficitarios aún resultaban los herederos, a través de dos o tres generaciones, de fenecidos mayorazgos.

En resumen, la propiedad de aguas vivas o perennes de los ríos-ramblas surestinos conoció un proceso secular de concentración en los linajes más prominentes del patriciado urbano, auspiciado por la institución del mayorazgo y las prácticas endogámicas. Abolido aquél, los linajes nobiliarios o la burguesía emergente se aferrarán, a través de prohibiciones de venta a suce-

sores o del usufructo, a la propiedad del agua, que únicamente traspasarán en circunstancias de quiebra o urgencia económica. La resistencia a la enajenación será aún mayor que en el caso de la tierra, donde ya era muy fuerte; ello obedece a que la pérdida del dominio del agua no sólo incidía negativamente en el prestigio social sino que, además, extinguía o menguaba una fuente de ingresos bien rentable y, aunque no exenta de irregularidad interanual, bastante segura. En los grandes regadíos deficitarios alicantino, ilicitano y lorquino las transmisiones de porciones de agua por sucesión hereditaria continuaron privando sobre las compraventas. Dista de ser mera casualidad que los descendientes de los mayorazgos con más participación en los módulos el Guadalentín (condes de San Julián), Vinalopó y Monnegre (condes de Torrellano y Casa Rojas) a finales del Antiguo Régimen mantuvieron dichas posiciones, o incluso las hubiesen robustecido, a comienzos del siglo actual. En suma, las disposiciones desvinculadoras auspiciaron la preponderancia de la burguesía en este sector de singular interés económico, pero los descendientes de los mayorazgos conservaron hasta la desvalorización, rescate o expropiación de los derechos de aguas, ya en este siglo, una presencia considerable en los grandes regadíos deficitarios.

En el primer tercio de este siglo XX las aguas de particulares pierden esta condición, al pasar a manos de organismos públicos y comunidades de regantes, o, en otro caso, se desvanece, en compañía del monopolio que lo sustentaba, su tradicional protagonismo, postergados o diluidos por un sustancial incremento de disponibilidades a expensas de nuevos caudales procedentes, sola o conjuntamente, de elevación de *aguas muertas*, bombeo de freáticas y trasvase de epigeas. Avances técnicos, que permitieron la extracción a gran escala de caudales subterráneos y trasvases de importancia creciente, y, junto a ellos, la nueva sensibilidad y actitud de los poderes públicos frente al dominio de módulos fluviales extinguieron o vaciaron de contenido los títulos de propiedad de aguas perennes, acapa-

rados durante siglos por las sucesivas oligarquías del sureste ibérico.

Pantanos de los siglos XVI y XVII

Contra una creencia muy generalizada, los planteamientos de trasvases precedieron a la construcción de pantanos en la región climática del sureste ibérico, sin duda por considerar, erróneamente, la realización de aquéllos más viable técnicamente. Se hallaba aún el mencionado espacio dividido entre las coronas de Castilla y Aragón y el reino musulmán de Granada, cuando, en 1370, la importante plaza fronteriza de Lorca, llave del reino de Murcia, planteó a Enrique II la necesidad de transferir a su regadío, ampliamente deficitario, agua de las fuentes de Archivel o Caravaca, que brotan a más de 50 kilómetros de distancia³⁰. Medio siglo después, el 27 de mayo de 1420, la villa de Elche decidió, según parece, por primera vez, gestionar el trasvase de una porción de las aguas perennes del Júcar; el concejo ilicitano consiguió que Villena y Chinchilla, territorios de la corona de Castilla por donde había de discurrir la conducción, concediesen su beneplácito³¹. Fácilmente se entiende que, en épocas tan tempranas, las posibilidades de ejecución de ambos designios, con sus respectivos cúmulos de dificultades técnicas, políticas y económicas, insuperables en la práctica, más que remotas, eran nulas.

Los siglos XVI y XVII configuran una etapa destacada en la historia hidráulica española, primordialmente por la construcción de embalses para riego en los reinos de Valencia y Murcia. Los de Almansa y Tibi fueron, por este orden, los primeros, si bien el segundo, pantano modélico hasta muy avanzado el siglo XVIII superó, con mucho, a aquél en celebridad

y trascendencia³². Tras Almansa y Tibi, logros del siglo XVI, aún en funcionamiento, se levantan durante la centuria siguiente los de Elche, Elda, Onteniente y, probablemente, los de Petrel y Alcora, además de un intento fallido en Lorca³³.

Excusado es decir que los reservorios, al igual que los proyectos de trasvase, tuvieron en los dueños de *aguas vivas* a sus enemigos naturales y acérrimos. Motivos para esta oposición no faltaban: en primer lugar, el incremento de disponibilidades hídricas reducía los precios de la subasta o del arriendo de porciones, efecto negativo al que acompañaba una mayor mediatización de los derechos de aguas, y, por si ello fuese poco, se añadía el habitual arbitrio concejil de acudir a *fallas* en la tanda o al incremento de porciones, mediante sisa de las existentes o alargamiento de turnos, para costear dichas obras hidráulicas. Las vicisitudes de las tres primeras presas de Puentes ofrecen un caso prototípico de cerrada defensa de sus intereses por los señores de *aguas vivas*³⁴.

Almansa y Tibi, presas de gravedad-arco, suponen una gran novedad técnica y son, por este orden, como se ha indicado, las más antiguas. Embalse modélico y singular, imitado durante tres siglos, Tibi carece de parangón en la historia hidráulica española. Hace más de cuatrocientos años, con algún paréntesis, que el célebre reservorio regula las aguas del Monnegre, desde el cierre de sus compuertas en octubre de 1593. Tras el acuerdo del *consell general* de Alicante de construir la presa, adoptado el 7 de agosto de 1579, y luego de obtener autorización real para la financiación de la obra y la concesión de los diezmos y primicias de las tierras novales, los trabajos dieron comienzo con arreglo al diseño del maestro Pere Izquierdo, vecino de Muchamiel. Interrumpidos por falta de fondos, se rea-

(30) MUSSO y FONTES, J.: *Historia de los riegos de Lorca, de los ríos Castril y Guardal, o del Canal de Murcia y de los Ojos de Archivel*, Murcia, Imp. José Carles, 1847, p. 11.

(31) RAMOS FERNÁNDEZ, R.: "Proyectos para trasvase de aguas de riego a Elche", *Cuadernos de Geografía*, 1970, nº 7, p. 260.

(32) ALBEROLA ROMÁ, A.: *El pantano de Tibi y el sistema de riegos de la Huerta de Alicante*. Alicante, Inst: "Juan Gil-Albert", 1984, 191 pp. CAMARERO, E. et al.: *Tibi, un pantano singular*. Valencia, COPUT, 1991.

(33) LÓPEZ GÓMEZ, A.: *Els embassaments valencians antics*. Valencia, COPUT, 1987, 72 pp.

(34) MULA GÓMEZ, A.J., HERNÁNDEZ FRANCO, J. y GRIS MARTÍNEZ, J.: *Las obras hidráulicas en el reino de Murcia durante el reformismo borbónico. Los reales pantanos de Lorca*, Murcia, Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1986, 268 pp.

nudaron, gracias al decisivo apoyo de don Pedro Franqueza, con planos de los ingenieros Jorge Fratrín, Juan Bautista y, sobre todo, Cristóbal Antonelli, responsable asimismo de la dirección técnica³⁵.

El pantano es una típica presa de gravedad, con planta arqueada. La capacidad originaria del vaso, hoy muy menguada por los légamos, fue calculada en 3,7 hm³. Tal y como recuerda Alberola Romá³⁶, el pantano incorporó innovaciones dignas de mención; en particular el sistema de toma de aguas y galería de salida, desarenador y aliviadero lateral. Procuró el embalse un cierto alivio a la penuria hídrica del área regable, pero en modo alguno la solventó, hipotecado, además, su rendimiento por la elevada irregularidad interanual de las precipitaciones y, por ende, del módulo fluvial. Motivó no obstante, una importante reordenación del sistema de riegos de la Huerta de Alicante, con la distinción básica de *agua vieja* y *agua nueva* a partir de la consideración teórica de que se duplicaba el caudal³⁷.

Ante las dificultades de todo orden que planteaban los pretendidos trasvases al regadío lorquino de caudales de las Fuentes de Archivel o de los ríos Castril y Guardal, fue tomando cuerpo la idea de cerrar el estrecho de Puentes, donde la confluencia de los ríos Vélez y Luchena engendra al Guadalentín. A pesar de la tenaz oposición de los dueños de aguas, un cabildo abierto acordó, el 30 de abril de 1612, la construcción de un embalse “*hecho al estilo del de Alicante*”, estimándose su coste en 50.000 ducados, que la ciudad tomaría a censo sobre sus propios y rentas. La influencia de aquéllos y, sobre todo, las dificultades de financiación paralizaron durante siete lustros la ejecución del proyecto. Finalmente, se iniciaron las obras en Puentes bajo la dirección del maestro de cantería Pedro Guillén, que, impotente para drenar la profunda zanja excavada en los aluviones para buscar roca firme, ideó

un tipo especial de cimentación. El día 6 de agosto de 1648, concluidos los arcos de basamento y apenas iniciado el dique, una riada arrasó la obra, que suponía ya una inversión de 10.000 ducados³⁸.

Fracaso del Canal de Murcia e hiperembalses lorquinos

La denominada Compañía del Canal de Murcia pretendía construir un “*Canal de Riego y Navegación, con las Aguas de los Ríos Castril, Guardal y otros para que se puedan regar, y hacer fecundos los campos de Lorca, Totana, y demás del Reyno de Murcia, en la forma que se expresa. Año de 1774*”. El plan perseguía el aprovechamiento conjunto de las cabeceras del Castril y Guardal, cuenca alta del Guadaletín y fuentes del Archivel. La infraestructura precisa para llevarlo a cabo principiaba en el nacimiento del Castril, que se uniría al Guardal por una mina de diez kilómetros perforada en Sierra Seca; ambas cabeceras quedarían reguladas por sendas presas, al igual que la fuente baja del Guardal, punto de partida del canal de riego y navegación que, con anchura de 20 pies (5,57 m) y ocho (2,23 m) de profundidad, había de recorrer 43 leguas (287 km) hasta Cartagena, en cuyo campo se bifurcaba en un ramal, tan sólo para riego, que moría en el Mar Menor y otro, que era además navegable, hasta Cabo de Palos. Para proporcionar idea, siquiera sea aproximada, del gigantesco sistema proyectado, baste mencionar las 92,75 leguas (620 km) de la red de canales, la realización de esclusas, grandes acueductos y largos túneles, el mayor de los cuales, en la Sierra de Topares, tenía 13,4 km de longitud; y, sobre ello, la construcción de los embalses de Valdeinfierno, Agua Amarga y Puentes. Como notoria excepción, la finalidad primordial del canal, íntimamente relacionado con

(35) CAMARERO *et al.*, *Op. cit.* p. 32.

(36) ALBEROLA ROMÁ, *Op. cit.* 32, pp. 64-69.

(37) ALBEROLA ROMÁ, *Op. cit.* 32.

(38) BAUTISTA MARTÍN, J. y MUÑOZ BRAVO, J.: *Las presas del estrecho de Puentes*. Murcia, Confederación Hidrográfica del Segura, 1986, 256 pp. MUÑOZ BRAVO, J.: “De la rotura del Pantano de Puentes a su reedificación”, *Hitos históricos de los regadíos españoles*, Madrid, Ministerio de Agricultura, 1992, pp. 217-219.

uno de los empeños colonizadores más ambiciosos y menos divulgados del reformismo borbónico, era la ampliación y mejora de regadíos, con una superficie afectada de 300.000 fanegas de 4.000 varas cuadradas, equivalentes a 84.000 hectáreas, lo que suponía un incremento próximo al 10% del regadío entonces existente en la España peninsular. No se descuidaba tampoco la navegación, que debía permitir el transporte de maderas y producciones agrícolas desde el noreste de la provincia de Granada al Mediterráneo y, a partir de éste, en sentido ascendente, la importación de mercancías³⁹.

Luego de revocar, en 1776, una concesión a particulares por incumplimiento de condiciones, la Corona creó la Real Compañía del Canal de Murcia y dio un gran impulso a los trabajos. Aún hoy impresionan las excavaciones y obras efectuadas entre 1776 y 1780⁴⁰. Pronto surgieron, empero, certezas negativas y dudas; las primeras se referían a la insuficiencia de los caudales disponibles y las segundas a la propia viabilidad del canal. Una Real Orden de 24 de marzo de 1778 marginó la navegación e hizo del riego única meta. Otra Real Orden dispuso, el 8 de octubre de 1780, una minuciosa supervisión del proyecto y obras, que había de realizar una nutrida comisión de afamados ingenieros y arquitectos, cuyo informe destacó la existencia de obstáculos prácticamente insuperables; la realidad acabó por imponerse a la utopía cuando el Real Decreto de 11 de febrero de 1785 disolvió la Compañía del Real Canal de Murcia.

Para hacer olvidar el sonado y costoso fracaso del Canal de Murcia, que comprometió el prestigio de Floridablanca y el del propio monarca, se plantearon, con inusitada celeridad, obras de máxima envergadura, a cargo precisamente de Lemaury Martínez de Lara, miembros de la comisión cuyo informe había motiva-

do el abandono de los trabajos y la disolución de la Compañía por el citado Real Decreto de 11 de febrero de 1785. Con esa misma fecha quedó aprobado el proyecto de Martínez de Lara para construir los gigantes- cos reservorios de Valdeinfierno y Puentes; poco después se aceptaba asimismo el proyecto del Canal de Guadarrama, debido al brigadier de ingenieros Carlos Lemaury. Añadamos que también ese año crucial de 1785 se eleva a Carlos III un detallado informe sobre el desagüe de la laguna de Villena, que, transcurridos más de tres lustros, acabaría por dirigir Juan de Villanueva, otro de los miembros de la expresada comisión investigadora. Obviamente, tantas coincidencias no constituyen mera casualidad, sino que guardan básica y radical conexión⁴¹.

Puentes y Valdeinfierno marcan un hito de primer orden en la historia hidráulica española y europea, por diversas razones. En primer lugar, un importante cambio de orientación se produce; el típico embalse levantino de los siglos anteriores, debido a iniciativa local y con un vaso reducido, deja paso a grandes presas de gestión enteramente estatal. Baste señalar que la capacidad de Puentes (52 hm³) era catorce veces superior a la de Tibi, el mayor pantano construido hasta entonces, y no sería superada sino en 1912 por el pantano de Guadalcañín. Con todo, su condición de hiperembalse no era la única novedad, ya que también, por primera vez, se utilizaba el dispositivo de embalse-contrabalse, funciones que cumplían, respectivamente, Valdeinfierno y Puentes⁴².

Vencida la fuerte oposición de los dueños de aguas, los trámites se resolvieron con una celeridad que denuncia la mano directa de Floridablanca; presentado el proyecto al monarca el 14 de enero de 1785, fue informado el 1 de febrero y aprobado 10 días más tarde. Ubicado en el punto de confluencia de los ríos

(39) MULA GÓMEZ, HERNÁNDEZ FRANCO, GRIS MARTÍNEZ, *Op. cit.*, p. 34.

(40) Vid. imágenes en BAUTISTA MARTÍN y MUÑOZ BRAVO, *Op. cit.*, p. 38.

(41) GIL OLCINA, A.: "Las políticas hidráulicas del reformismo ilustrado", *Hitos históricos de los regadíos españoles*. Madrid, MAPA, 1992, pp. 175-176.

(42) BAUTISTA MARTÍN y MUÑOZ BRAVO, *Op. cit.*, p. 38. GIL OLCINA, A.: "Características y trascendencia de los hiperembalses españoles del siglo XVIII", *El agua en la Historia*, Valladolid, Inst. Univ. de Historia Simancas, 1998, pp. 89-120.

Vélez y Luchena, con rotura de carga e intenso aluvionamiento, Puentes presentaba serias dificultades de cimentación; para obviarlas su proyectista, el pseudo-arquitecto Martínez de Lara, recurrió a un sistema de pilotaje, que sería la causa de su ruina. Al contrario que Puentes, el cañón de Luchena en Valdeinfierno, que taja duras dolomías, no presentaba especiales dificultades de cimentación. A un lado la polémica sobre la utilidad de ambos, pantanos que no era, en gran parte, sino una faceta más en la pugna del reformismo con la minoría privilegiada, personificada en este caso por los dueños de aguas, la discusión científica se centró en Puentes, mientras en líneas generales se aceptaba Valdeinfierno. Joaquín Ibagüen, capitán de navío e ingeniero jefe del Departamento de Cartagena, emitió un informe ajustadísimo, de precisión casi profética, sobre las deficiencias del proyecto⁴³. La rotura del pantano por sifonamiento, el 30 de abril de 1802, confirmaba las atinadas observaciones de Ibagüen. Seiscientos ocho víctimas y daños cifrados en 34.365.550 reales de vellón constituyen el apretado balance de la colosal catástrofe. Nada tiene de extraño que el eco de una calamidad de tal magnitud traspasara las fronteras y retrasara sensiblemente la construcción de grandes embalses en todo el ámbito mediterráneo.

Por supuesto, los dueños de aguas perennes no anduvieron remisos a la hora de aprovechar argumentación tan convincente contra esta clase de obras como la que constituían la presa de El Gasco, en Guadarrama, la ruina del denominado *Mar de la Cavina* en Aranjuez, el rápido enrunamiento de Valdeinfierno y, sobre todo, la ruina de Puentes. La propia creación de la Escuela de Ingenieros de Caminos y Canales de Madrid, con fecha 19 de octubre de 1802, no es ajena a la preocupación que originó el suceso, sobre el que había informado al Consejo de Castilla Agustín de

Betancourt el 16 de julio precedente. Juicios adversos sobre este tipo de reservorios menudearon entre los tratadistas de aguas hasta comienzos del siglo actual⁴⁴.

Las secas como acicates hidráulicos: tercera presa de Puentes y rehabilitación de Valdeinfierno

No es preciso encarecer que escasez de agua y obras hidráulicas, a excepción de las motivadas por la defensa contra avenidas, guardan en la región climática del sureste ibérico relación estrecha y evidente. Con tal dependencia de precipitaciones parvas e irregulares, las cosechas en los secanos del sureste peninsular son aleatorias y, con frecuencia, magras. Escasean los años agrícolas muy buenos, resultan menos raros los pésimos y menudean los de rendimientos mediocres. De ahí que secularmente se persiguiera, con el mayor ahinco, la puesta en regadío, por muy precario que fuese, mediante la derivación de aguas vivas o el afloramiento de subterráneas, sin olvidar el abandonado aprovechamiento de turbias.

Las grandes secas resultaban, muchas veces, decisivas para la ejecución de obras hidráulicas controvertidas y costosas. Tal sucedió con los célebres embalses surestinos, que tuvieron en los dueños de aguas vivas a sus enemigos naturales y acérrimos. Tras Almansa y Tibi, logros del siglo XVI, aún en funcionamiento, se levantan durante la centuria siguiente los de Elche, Elda y, probablemente, el de Petrel, además de un intento fallido en el Guadalentín⁴⁵. Al XVIII corresponden Lébor, en Totana, Relleu y, sobre todo, los gigantescos reservorios de Puentes y Valdeinfierno, antecedentes obligados de las grandes presas actuales y, con diferencia, los mayores realizados en Europa hasta entonces⁴⁶. Luego de estos dos últimos, la construcción de pantanos registra, hasta el inicio de los tra-

(43) GIL OLCINA, A.: "Los pantanos de Puentes y Valdeinfiernos", *Agua, riegos y modo de vida en Lorca y su comarca*, Murcia, Caja de Ahorros de Alicante y Murcia, 1986, pp. 105-119.

(44) LLAURADÓ, A.: "Reservoirs établis en Espagne", *Extrait de V Congrès International de Navigation Intérieure*, París, 1892, 13 pp. BENTABOL y URETA, H.: *Las aguas de España y Portugal*, Madrid, Tip. Viuda e Hijos de M. Tello, 1900, pp. 180-190. BRUNHES, J.: *L'irrigation, ses conditions géographiques, ses modes et son organisation dans la Péninsule Ibérique et dans l'Afrique du Nord*, París, Masson, 1904, pp. 143-432.

(45) LÓPEZ GÓMEZ, A.: *Els embassaments valencians antics*, Valencia, COPUT de la Generalitat Valenciana, 1987, 72 pp.

(46) BAUTISTA MARTÍN y MUÑOZ BRAVO, J.: *Las presas del estrecho de Puentes*. Murcia, Confederación Hidrográfica del Segura, 1986, 256 pp.

bajos en Níjar⁴⁷, un hiato de medio siglo; la ausencia de este tipo de iniciativas encaja perfectamente con la inestabilidad política de la época y los rasgos dominantes de sus coyunturas económicas. Sin que ello suponga, en modo alguno, desconocer e infravalorar el serio desprestigio de los hiperembalses a raíz del abandono de la presa de El Gasco en Guadarrama, del terraplenamiento del Valdeinfierno y, sobre todo, del desastre de Puentes; por supuesto, los dueños de aguas no anduvieron remisos a la hora de emplear argumentación tan contundente⁴⁸.

En 1850 la eventual reconstrucción de Puentes, que se había agitado a causa de la sequía muy dura y prolongada que asoló, por entonces, el sureste peninsular, merecía del aristócrata José Musco y Fontes, miembro de una ilustre y rica familia lorquina, interesada en la propiedad de aguas del Guadalentín, tratadista de riegos e influyente corresponsal del *Semanario Agrícola*, el comentario siguiente: “... y los malditos pantanos que aquí se hicieron, de uno ya saben ustedes que no existe, ni debió existir nunca, y el otro no tiene agua, porque no llueve, ni podrá contenerla por estar ya casi todo ciego”⁴⁹. En este ambiente nada favorable, del que proporciona asimismo testimonio Echegaray⁵⁰, sólo algunas de las peores secas de la centuria fueron capaces de superar, además de la influyente oposición de los dueños de aguas, las suspicacias e inercia del mundo agrario; así, el inicio de las obras de Níjar, la reparación del pantano de Elche y el acuerdo para reconstruir la presa de Elda coinciden con la intensa sequía que afectó al sureste peninsular en el período 1841-42⁵¹. En la segunda mitad del siglo, con un marco legal propicio y notorios avances de la técnica constructiva, las causas inmediatas del proyecto o rea-

lización de un pantano son asimismo circunstancias climáticas particularmente desfavorables; a la famosa “seca de cuatro años”, que padeció gran parte del país desde 1875 se vinculan estrechamente en nuestro ámbito de referencia, además de algunos anteproyectos, la continuación de la segunda presa de Elda y el nuevo embalse de Puentes. Este último y el recrecimiento de Valdeinfierno contaron también a su favor, aun cuando en segundo término, con los cuantiosos daños ocasionados, el 14 de octubre de 1879, por la célebre “riada de Santa Teresa”, la mayor de que hay noticia histórica en el Segura.

Mediante subasta, conforme a las bases establecidas por Real Decreto de 13 de junio de 1879, obtuvo la concesión para levantar el embalse de Puentes don Pedro Pablo Ayuso, traspasándola poco después a una sociedad integrada por caracterizados personajes de la oligarquía madrileña. Las obras, con planos del ingeniero Prieto y Caules, dieron comienzo en 1881 y duraron cuatro años, calculándose la capacidad del nuevo reservorio en 36 hm³. Por su parte, el dique de Valdeinfierno fue elevado 15 m, bajo la dirección del célebre ingeniero don Ramón García, para retener 21,4 hm³. El gran problema de estos pantanos es el enorme depósito de acarreo, propiciado por las condiciones climáticas, naturaleza del terreno, sistemas de pendientes e intensa deforestación; no en vano Guadalentín significa, literalmente, “río de fango”. A pesar de ello, durante más de un siglo la tercera presa de Puentes y el recrecido Valdeinfierno han regulado la turbulenta cabecera del Guadalentín en beneficio de la vega de Lorca, aguantando colosales avenidas, como las de 21 de abril de 1946 y 19 de octubre de 1973.

Repletos de sedimentos, Valdeinfierno y Puentes

(47) MUÑOZ BRAVO, J.: “De la rotura del pantano de Puentes a su reedificación”, *Hitos históricos de los regadíos españoles*, Madrid, MAPAM pp. 203-230.

(48) GIL OLCINA, A.: “Características y transcendencia de los hiperembalses españoles del siglo XVIII”, *El agua en la historia*, Valladolid, Inst. Univ. de Historia Simanca, 1998, pp. 89-120.

(49) *Semanario Agrícola. Periódico dedicado al examen de los intereses referentes a la propiedad y a la agricultura*: Año I, Madrid, 10 de julio de 1850, n° 23, pp. 6-7.

(50) ECHEGARAY, J., DE: *Memoria sobre las causas de la sequía de las provincias de Almería y Murcia, y de los medios de atenuar sus efectos, escrita en arreglo al programa del Real Decreto de 30 de marzo de 1850. Premiada con el accésit por la Real Academia de Ciencias*, Madrid, Imprenta del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, 1851, 123 pp.

(51) CAMPOY GARCIA, J.Mª.: *Alcaldes de Lorca desde las Cortes de Cádiz*, Murcia, 1966 (años 1841-1843).

constituyen ya un rico legado histórico, reliquias venerables de máximo interés. En el marco del Plan de Defensas de las Avenidas del Segura (1987), una nueva presa, la cuarta, construida aguas arriba de la que ahora queda fuera de servicio y muy próxima al emplazamiento de la arruinada en 1802, con vaso de 48 hm³ y aliviadero de 3.000 m³/s, continúa la tradición plurisecular de Puentes, referencia obligada y de primer orden en la historia hidráulica española y europea.

Del Plan de 1902 a las Confederaciones Sindicales Hidrográficas

A raíz del fracaso del sexenio revolucionario toma progresivamente cuerpo una corriente de pensamiento plural cuyo denominador común es la preocupación por la decadencia de España y el deseo de regenerarla; dicho talante cobra especial vigor, en el marco de la crisis finisecular, con motivo del desastroso final de la guerra hispano-yanqui. Y no puedo sorprender que, en una economía de amplia base agraria, se propugne como instrumento capital de restauración económica la política hidráulica de transformación en regadío. Existe una evidente coincidencia entre los regeneracionistas al considerar que “*los males de la patria*” tienen, en gran medida, un fundamento físico, debido a condiciones francamente desfavorables de relieve y clima⁵². De Costa es la afirmación de que “... *la planicie central, y acaso la mitad de España, es una de las regiones más secas del globo, después de los desiertos de África y Asia. Provincias hay, como Murcia, apellidada el reino serenísimo, donde apenas si se ve una nube en todo el año... las corrientes atmosféricas del Mediterráneo y del Atlántico no vierten sobre los abrasados campos de la Península toda el agua que necesitan las plantas para vegetar y fructificar; pero hay inmensos depósitos de ella en las crestas y en las entrañas de los montes, y podemos derramarla con la regularidad matemática de las pulsaciones sobre el*

país, cruzándolo de un sistema arterial hidráulico que mitigue su calor y apague su sed...”. Preciso es resaltar que el ideario hidráulico de Costa, sin que falten flecos actuales, ha tenido plena vigencia en nuestro país durante más de un siglo, cuando menos hasta el desechado Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional de 1993.

Costa consideró un completo fracaso el régimen de concesiones y urgió el protagonismo estatal en la realización de las obras hidráulicas, defendiendo terminantemente que “*el Estado debe construir y explotar los canales y pantanos; contruidos por empresas o particulares, el remedio sería peor que la enfermedad*”⁵³. Este planteamiento coincidía con el del prestigioso e influyente Cuerpo de Ingenieros de Caminos. Baste señalar que en el editorial de la Revista de Obras Públicas de abril de 1899 se declaraba: “*Ha llegado la hora de que vuelva a figurar el presupuesto de Fomento en primera línea. El país desea que se desarrollen sus fuentes de riqueza*”. Fruto de esta actitud será la elaboración del *Avance de un Plan General de pantanos y canales de riego* entregado al ministro de Fomento marqués de Pidal en abril de 1899, con informe favorable de la Junta Consultiva y declarado apoyo de la Junta de Representación del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, que presidía entonces Práxedes Mateo Sagasta. Ocioso resulta encarecer que este *Avance* constituye el precedente obligado e inmediato del Plan General de Canales de Riego y Pantanos, cuyo impulsor fue el ministro de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas Rafael Gasset.

Acorde con los planteamientos regeneracionistas, el Plan Básico de 1902 aparece como la respuesta liberal a la grave crisis agraria que atenazaba el país. A los efectos que ahora interesan, es de resaltar que, carente de la información necesaria a la hora de adoptar decisiones sobre las áreas más aptas para su transformación en regadío, optó, erróneamente, por un planteamiento uniformador, al considerar igualmente benefi-

(52) GÓMEZ MENDOZA, J.: “Regeneracionismo y regadíos”, *Hitos históricos de los regadíos españoles*, Madrid, MAPA, 1992, pp. 231-262.

(53) COSTA, J.: *Política hidráulica (Misión social de los riegos en España)*, Madrid, Biblioteca J. Costa, 1991.

cioso el riego por doquier y utilizar como criterio decisivo el coste de conversión por hectárea. Ello conducía automáticamente a la preponderancia de los regadíos interiores, en detrimento de los mediterráneos, a pesar de ser aquéllos poco flexibles y rentables por sus largos y rigurosos inviernos. Por ésta y otras razones, el balance general del Plan de 1902 resultó poco satisfactorio, tal y como se encargaría de hacer notar, con juicio más severo que ponderado, Manuel Lorenzo Pardo, para quién *“hubo por parte de todos error grave, aunque excusable... El país esperaba un plan de política hidráulica, y lo que resultó fue un catálogo de canales y pantanos, casi todos ellos aislados, sin relación alguna, aún dentro de la propia cuenca, algunos francamente incompatibles entre sí. Podríamos citar multitud de ejemplos en comprobación de esta ausencia de criterio definidor... Pero no hace falta descender al análisis parcial; basta mirar el mapa de España... Si se exceptúan las obras correspondientes a la cuenca del Ebro, todas o casi todas las demás están arbitrariamente repartidas en la vertiente atlántica, y en particular en las dos mesetas... En cambio, en la zona mediterránea, la región clásica del regadío, donde se sufren las mayores penurias y se alcanzan los mayores beneficios, apenas hay una obra incluida. En todo el litoral levantino la más importante es la de Buseo, pantano dedicado a una mejora poco importante de nuevos regadíos”*⁵⁴. La marginación de la fachada mediterránea fue, a la postre, casi total.

La Dictadura de Primo de Rivera, con Guadalhorce en Fomento, modificará parcialmente la política hidráulica, planteando la descentralización de actuaciones a través de organismos autónomos de nueva creación, las denominadas Confederaciones Sindicales Hidrográficas, a las que se atribuiría como función más relevante *“la formación de un plan de aprovechamiento general coordinado y metódico de las aguas*

*que discurren por el cauce de los ríos comprendidos en la cuenca”*⁵⁵, incluyendo, entre sus competencias, *“el conocimiento e informe de todas las solicitudes de concesión de aguas públicas de la cuenca sobre el punto concreto de su compatibilidad con las obras incluidas en el plan de aprovechamiento y la propuesta de concesión o caducidad de las que afecten a dicho plan”*⁵⁶, es decir, un precedente jurídico de la planificación hidrológica. Así pues, tras la promulgación del decreto de 5 de marzo de 1926 la política hidráulica española se había de desarrollar en el marco de las Confederaciones. Sus logros fueron muy desiguales: en contraste, por ejemplo, con el éxito espectacular en la del Ebro o la notable actividad de la del Segura, en la del Júcar apenas hubo actuaciones. Es de notar que en la del Segura los logros de la Confederación no se limitaron a las realizaciones hidráulicas sino que incluyeron asimismo la reorganización del regadío lorquino, con la incorporación a su organismo de la presa de Puentes y la adquisición o expropiación de las “aguas de particulares” en el Guadalentín. A este período corresponde asimismo la creación, por Real Decreto-Ley de 4 de octubre de 1927, de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, integrada entonces por veintidós municipios y, con ellos, muy en primer término, la Base Naval de Cartagena⁵⁷.

I Plan Nacional de Obras Hidráulicas:

Mejora y ampliación de los Riegos de Levante

Refiriéndose a las Confederaciones Sindicales Hidrográficas, Lorenzo Pardo, con profundo conocimiento de causa, escribió, en 1934, que el modelo *“no era la organización completa. Tenía, además, el grave achaque de la desigualdad; obedecía más a estímulos locales y esfuerzos personales que a razones de alcance nacional”*. Dichos problemas fueron los que inten-

(54) LORENZO PARDO, M. *Op. cit.*, pp. 20-21.

(55) Art, 7º del R.D. de 5 de marzo de 1926.

(56) Art, 8ºb del R.D. de 5 de marzo de 1926.

(57) MORALES GIL, A.: y VERA REBOLLO, J.F.: *La Mancomunidad de los Canales del Taibilla*, Murcia, Inst. Universitario de Geografía y Academia Alfonso X el Sabio, 1989, 113 pp.

tó resolver, finalmente, el I Plan Nacional de Obras Hidráulicas (1933), con una perspectiva unitaria, que representaba la supeditación de cualquier interés, ya fuese privado o regional, al horizonte nacional.

Defendió, enérgica y entusiásticamente, que *“la zona verdaderamente apta para el regadío es la mediterránea. Allí se encuentran todas las circunstancias propicias...”* y añadía que *“en la zona mediterránea se conservan los usos más antiguos, las tradicionales más vivas, las instituciones de riego más firmes, las prácticas más sabias, la mayor y más generalizada experiencia”*⁵⁸. El Plan pretendía afectar, en 25 años, 1.478.335 ha, equivalentes a 1.285.900 de nuevo regadío; de ellas casi 900.000 ha reales (650.000 de nuevo regadío), es decir, por encima del 60% de las previsiones globales en la vertiente mediterránea, con marcada preferencia por las cuencas del Segura y Júcar. Como objetivos básicos el Plan pretendía la corrección de dos desequilibrios: el hidrográfico entre las vertientes atlántica y mediterránea, y, en estrecha relación con él, el desequilibrio económico, al ser las zonas agrícolamente más productivas y con mayor capacidad exportadora encaminadas a dicha finalidad se concreta en el Plan de Mejora y Ampliación de los Riegos de Levante, que abarcaba 338.000 hectáreas, en las provincias de Murcia (185.000), Valencia (80.000), Alicante (40.000), Almería (12.500), Albacete y Cuenca (20.000 en total), y estimaba necesarios para transformación y redotaciones 2.297,16 hm³ anuales; este gran volumen debía reunirse con sobrantes de los ríos Mijares, Turia, Júcar y Segura y de algunos autóctonos, a los que se añadirían los caudales trasvasados de las cabeceras del Guadiana y, sobre todo, del Tajo; en realidad, la toma del Tajo constituía la aportación básica para la corrección de desequilibrios hidrológico preconizada por Manuel Lorenzo Pardo. Sin embargo, el expresado empeño, costosísimo y con enormes dificultades técnicas, habría resultado por entonces, aún sin la guerra civil, inviable; recordemos asimismo que el

complejo Entrepeñas-Buendía y el hiperembalse de Alarcón, vitales para el proyecto, no fueron realidad sino en esta segunda mitad de siglo.

Además de concepción y contenido, otros hechos destacables con relación al Plan son la insólita celeridad de su elaboración y su aceptación política, inseparable esta última del consenso puntual sobre este asunto de fuerzas políticas ferozmente enfrentadas, los posicionamientos regionales opuestos, el indudable acierto de contar con especialistas en disciplinas afines, y, por último, su prolongada vigencia fáctica. En efecto, ha de tenerse muy en cuenta que, a pesar de su condición meramente indicativa, el Plan de Manuel Lorenzo Pardo, que por cierto ocupaba la presidencia del Consejo Nacional de Obras Públicas en 1948, ha guiado sustancialmente, con modificaciones y adiciones, la política hidráulica española durante medio siglo.

De recordar es la propuesta formulada, en 1937, por el ingeniero Félix de los Ríos Martín, director de la Confederación Hidrográfica del Ebro, con ocasión del informe del I Plan Nacional de Obras Hidráulicas, para derivar 40 m³/s del Ebro, con elevación en Cherta, para la ampliación y mejora de los riegos de Levante, mediante el juego combinado con los recursos del Turia y Júcar para aminorar la dificultad y fuerte coste de las elevaciones que resultan precisas para conducir, sin relevo, las aguas del Ebro a la cuenca del Segura.

De la Mancomunidad de los Canales del Taibilla al trasvase Tajo-Segura

Estas dos grandiosas realizaciones, cuya conexión configura un sistema de singular importancia para tierras murcianas y alicantinas, enmarcan cronológicamente el período más fecundo en la historia hidráulica de los espacios que integran las actuales cuencas administrativas del Júcar y Segura. En dicho intervalo se produce un sustancial avance en la regulación de los

(58) LORENZO PARDO, M. *Op. cit.*, p. 158.

ríos alóctonos y de los más caudalosos autóctonos del referido ámbito, al tiempo que se ejecutan obras de gran envergadura contra crecidas fluviales y para la transferencia y distribución de agua.

La Mancomunidad de los Canales del Taibilla es, sin ningún género de duda, uno de los mayores logros de la historia hidráulica española, aunque pase bastante inadvertido, incluso a sus propios beneficiarios. Pocos datos bastan para evidenciar la magnitud del complejo: la longitud de los canales en servicio ronda los 500 kilómetros, los túneles suman 127,5 kilómetros y los ramales ejecutados y en estudio totalizan 828,1 kilómetros; si a todo ello se añaden presas, estaciones de elevación, depuradoras, grandes depósitos y otra multitud de instalaciones y servicios, puede tenerse una idea de lo que suponen los Canales del Taibilla. Estos cubren una superficie aproximada de 12.000 km² y proporcionan agua potable a dos millones de habitantes, cifra ampliamente superada en verano, de las provincias de Murcia, Alicante y Albacete.

Concluida la guerra civil, el proyecto salió adelante, venciendo dificultades técnicas y financieras, y las aguas del Taibilla llegaron a Cartagena en mayo de 1945, once años después a Murcia y en 1958 a Alicante. El desarrollo urbano, turístico, industrial y hasta agrícola de la extensa área beneficiada es impensable sin la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Con un volumen regulado, en principio, de 47 hm³ hasta 1964, se hizo precisa, ese año, una nueva captación a expensas del Segura, y, en 1972, la incorporación de débitos procedentes de pozos y manantiales. En la actualidad, la demanda ha cuadruplicado, con creces, el módulo regulado del Taibilla, excediendo los 200 hm³ anuales; de este volumen el trasvase Tajo-Segura proporciona casi el 60%. Hay que añadir, últimamente, el envío a la Marina Baja de 7 hm³ anuales desde Alarcón, utilizando las infraestructuras del trasvase Tajo-Segura y de la Mancomunidad.

Entre 1945, año que alcanzan Cartagena las aguas del Taibilla, y 1979, en que las del Tajo cruzan el túnel del Talave, se producen una serie de actuaciones

hidráulicas de primer orden para la fachada este de España. Entre ellas, la ejecución de hiperembalses en los ríos alóctonos, como los del Cenajo en el Segura, Alarcón en el Júcar, Contreras en el Cabriel y Loriguilla en el Turia, amén de otras presas sobre estos mismos cursos, sus afluentes y demás ríos autóctonos.

Como se ha indicado, el trasvase de sobrantes del Tajo constituía la aportación foránea básica para la corrección del desequilibrio hidrológico planteado en el I Plan Nacional de Obras Hidráulicas, pero transcurriría caso medio siglo hasta que, en 1979, el proyecto se materializase. El Anteproyecto General de Aprovechamiento Conjunto de los Recursos Hidráulicos del Centro y Sureste de España pretendía como objetivo final la transferencia de 1.000 hm³, de ellos 640 con destino a riego; dicha meta se alcanzaría en dos fases, con una primera de 600 hm³. Se preveía la transformación en regadío de 90.000 hectáreas y la redotación de 46.816 deficitarias. Sin embargo, la culminación de la primera fase ha tropezado con el incremento de la demanda de caudales del Tajo por las Comunidades Autónomas de Castilla-La Mancha y Madrid, que ha desembocado en una ácida disputa, denominada “guerra del agua”, entre el gobierno de la primera y los de las comunidades receptoras de Valencia y Murcia. Es de notar que en el año hidrológico de mayores transferencias para riego (1996-97) se han alcanzado 400 hm³. Por supuesto, con sequía en la cuenca cedente, el recorte es mucho mayor; baste señalar que en 1992-93 el trasvase para riego se contrajo a 185 hm³ y a 115 hm³ en 1994-95.

El volumen anual calculado para la primera fase se repartía entre riegos (400 hm³), abastecimientos (110 hm³) y pérdidas (90 hm³). Para abastecimientos se destinan en torno a 120 hm³, es decir, casi un 10% más de la asignación originaria, netamente rebasada; dichas cifras, absoluta y relativa, cobran su auténtico significado si se considera que la transferencia anual media resulta inferior, con frecuencia, a la mitad de la atribuida inicialmente en primera fase; en consecuencia, la reducción del trasvase ha afectado primordialmente al

regadío, cuya dotación puede considerarse disminuida, por término medio, a la mitad de la esperada.

Resulta, empero, paradójico que si se comparan las superficies regadas, para 1967, en el ámbito afectado con las actuales, los objetivos agrícolas del trasvase parecen milagrosamente cumplidos, ya que la superficie censada sube a 135.361 hectáreas frente a las 136.816 perseguidas. La justificación primordial del aparente portento radica en que gran parte de los nuevos regadíos emplean recursos mixtos o, incluso, mayoritariamente subterráneos, y la expansión incontralada, y quizá desmedida, de los mismos se había producido, en su casi totalidad, ya antes de la llegada del trasvase.

La controversia acerca del trasvase Tajo-Segura se remonta a la que acompañó, en parte por este motivo, al I Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Sin embargo, nunca los enfrentamientos habían conocido una dureza y entidad comparables, ni de lejos, a las del verano de 1994, en el marco de una dura sequía, con inimaginables descalificaciones cruzadas entre los gobiernos de las Comunidades Autónomas posicionadas a favor y en contra del referido trasvase, pertenecientes todos, por añadidura, al mismo partido político, que era asimismo el que sostenía el Gobierno de la Nación; todo ello con ocasión de un riego de socorro de 80 hm³ reclamado por las Comunidades de Valencia y Murcia, y finalmente autorizado por el gobierno central, pero con volumen reducido a 55 hm³ ⁵⁹. Tras esta conflictividad en torno al trasvase Tajo-Segura hay razones de muy distinta naturaleza, estructurales unas y coyunturales otras. Subrayemos, entre las primeras, el rápido crecimiento de la demanda de recursos hídricos en unas y otras Comunidades para distintos usos (agrícolas, urbanos, industriales y turísticos), así como la resistencia de las Comunidades opuestas a los trasvases a ceder un recurso vital para el desarrollo económico, cada vez más escaso y valioso, que puede, en último extremo, ser empleado como moneda de cam-

bio. Ocioso es resaltar que, entre los coyunturales, el más grave, que puesta base a la manifestación de otros, es la sequía, fenómeno que, por desgracia, no resulta infrecuente, tanto que, posiblemente, es acertado tenerlo por estructural.

Con todo, al margen de cualquier polémica o enfrentamiento autonómico, cabe la afirmación, difícil de cuestionar sin pérdida de identidad nacional y total olvido o menosprecio de un proyecto en común, que las mermadas transferencias del Tajo son el resequido sureste peninsular incomparablemente fecundas, no sólo por su elevado rendimiento agrícola sino, sobre todo, como vital contribución a las demandas urbana, industrial y turística de recursos hídricos que satisface la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. La conexión de ambos sistemas integra, en la actualidad, el mayor complejo hidráulico de España.

Extracción masiva de aguas hipogeas: sobreexplotación de acuíferos

Hasta mediados de la centuria actual el regadío atendido con caudales subterráneos, aforados mediante cimbres, presas subálveas, galerías de distinto tipo, pozos artesianos, norias de tracción animal, molinos de arcaduces y bombas centrífugas, era relativamente poco importante, situación que cambia por entero y aceleradamente desde entonces, merced a la rápida difusión de bombas de eje vertical y gran potencia, capaces de explotar freáticos a centenares de metros de profundidad.

Según Rodríguez Estrella (1987), los recursos en aguas subterráneas de la Región de Murcia se cifran en unos 260 hm³/año; frente a esta cifra, la explotación por bombeo es casi el doble, concretamente de 475 hm³/año, referidos al período 1985-1986. Según las cifras anteriores, en el conjunto de la región existe un estado casi generalizado de sobreexplotación de las zonas hidrogeológicas... la sobreexplotación ha traído

(59) GIL OLCINA, A.: "Conflictos autonómicos sobre los trasvases de agua en España", *Investigaciones Geográficas*, 1983, nº 13, pp. 17-28.

consigo: un descenso en la profundidad del agua (en Guadalentín y Ascoy-Sopalmo se superan ya los 100 metros); el abandono de muchas captaciones (en Jumilla-Villena de las casi 100 existentes sólo bombearon 52 en 1985); la aparición de gases (en Mazarrón-Águilas y Guadalentín); y el empeoramiento de la calidad química (en D. Gonzalo-La Paca se ha pasado en algunos sondeos en los últimos cinco años, de una salinidad inferior a 1g/l a tener más de 5g/l)”⁶⁰. Como se ve, las consecuencias de una extracción excesiva y desequilibrada son sumamente graves; para enfrentarlas, un Real Decreto de 30 de diciembre de 1986 dispuso que, hasta tanto no se aprobara por el gobierno el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura, que lo ha sido el 24 de julio de 1998, quedasen reservados a favor del Estado los recursos potenciales de aguas subterráneas y epigeas en dicho ámbito, de manera que sólo podrían otorgarse concesiones de aguas subterráneas para sustitución de caudales ya, legalmente, establecidos.

Ejemplo prototípico de bombeo desmesurado constituye el sistema de Jumilla-Villena, que ha trocado la existencia de pozos artesianos en el primer cuarto del siglo actual por una declaración provisional, con fecha 31 de julio de 1987, de acuífero sobreexplotado, situación que también sufre el de la Sierra de Crevillente. Éste constituye uno de los casos más espectaculares de acuífero sobreexplotado; cuarenta años atrás, en la Galería de los Suizos las aguas manaban cabelleras, hoy las profundidades de extracción se aproximan a 600 metros y se precisan electrobombas sumergibles de 1.000 CV de potencia, con costes desorbitados de alumbramiento (80 pts/m³ en energía eléctrica), ritmos de descenso piezométrico superiores a 25 m/año y unas reservas, tras ser dilapidados, prácticamente inexistentes. En 1989 los elevados contenidos en cloruros y sulfatos, muy por encima de los límites tolerables en aguas para abastecimiento urbano, obligaron a los

ayuntamientos de Aspe y Hondón de las Nieves a solicitar una conexión de socorro a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. La situación actual de los regadíos, a la espera del trasvase Júcar-Vinalopó, no es menos dramática, pues al elevado precio del agua para riego se suma un desmesurado contenido en sales que ha motivado, en coincidencia con problemas de mercado y desastres meteorológicos, el abandono de más de 2.000 hectáreas de *Uva de Mesa Embolsada del Vinalopó*, única en el mundo con denominación de origen⁶¹.

Sin infravalorar otros muy serios, el efecto más grave que conlleva para la región climática del sureste ibérico el bombeo excesivo de aguas subterráneas es la salinización. Se trata de un riesgo generalizado, y con severas manifestaciones en la franja litoral, sin que resulte exclusivo de la misma. Fue la costa del sureste la primera en sufrir las consecuencias de la penetración de agua de mar, que inutilizó multitud de pozos abiertos en el tramo murciano-almeriense comprendido entre los polos secos de Cabo Tiñoso y Cabo de Gata. Así pues, dicho proceso en los acuíferos costeros deriva de la intrusión marina, mientras en los del interior, como sucede con los sistemas de Sierra de Crevillente y Jumilla-Villena, resulta de la profundización de las captaciones y de su mayor densidad en campos de bombeo próximos al Keuper salífero. Obviamente, esta fuente de contaminación salina, sin perjuicio de que se halle extendida y amenace importantes freáticos continentales, carece de la omnipresencia que reviste el peligro de intrusión marina en la costa, con el agravante de que ésta opera de manera subrepticia, reemplazando el agua dulce por la salina sin acusado descenso de niveles piezométricos.

Es de notar que los alarmantes descensos de niveles freáticos en áreas costeras y prelitorales de la provincia de Almería (Pulpí, Huércal-Overa, Bajo Anda-

(60) RODRÍGUEZ ESTRELLA, T.: “Principales características geológicas e hidrogeológicas de la región de Murcia”, *El Campo*, 1987, nº 105, pp. 26-32.

(61) RICO AMORÓS, A.: *Sobreexplotación de aguas subterráneas y cambios agrarios en el Alto y Medio Vinalopó (Alicante)*, Alicante, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante e Instituto de Estudios Juan Gil-Albert, p. 276.

rax y campos de Níjar y Dalías) rayanos o incursos en la sobreexplotación, con intrusión marina o riesgo inminente de ella, motivó la promulgación, al amparo del Art. 56 de la vigente Ley de Aguas, del Real Decreto de 24 de diciembre de 1986, instrumento para la entrada en vigor, con relación a dichos acuíferos, de las medidas previstas para los declarados provisionalmente sobreexplotados, como forma de obviar los trámites normales previstos en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico.

La recuperación de acuíferos y suelos salinizados es difícil y costosa, de ahí que se imponga la conveniencia de una política preventiva, enmarcada por un adecuado desarrollo normativo y correcta aplicación de la actual Ley de Aguas en su ámbito de vigencia; todo ello parece inseparable de investigaciones hidrogeológicas, climáticas y de escorrentía, control de bombeos, recarga de acuíferos, corrección de desequilibrios hídricos y optimización de consumo de agua.

Difusión del riego localizado: horticultura de ciclo manipulado

Sin infravalorar, y menos aún desconocer, otras, no hay duda de que el área española donde la horticultura de ciclo manipulado posee más entidad es la región climática del sureste ibérico⁶². Durante esta segunda mitad de siglo, y particularmente en este último cuarto, las nuevas tecnologías han permitido no sólo superar las desventajas del clima y sacar el máximo provecho de sus posibilidades, sino incluso beneficiarse de la más grave de aquéllas, aunque ésta, que conlleva la indigencia de recursos hídricos propios, no deja de suponer una sombría amenaza, cuya resolución reclama la transferencia de aguas foráneas. No es preciso encarecer que la dificultad más seria para los cultivos tradicionales ha consistido en la escasez, irregularidad y torrencialidad de las precipitaciones. A diferencia,

hoy quienes practican nuevos sistemas de producción agrícola, bajo plástico o al aire libre, con riego localizado de alta frecuencia, ansían el agua, conducida desde distancias considerables, pero no la lluvia *in situ*, que mancha el fruto, propicia plagas u origina daños en los invernaderos; así, desde esta perspectiva, la rareza de las mismas acaba por constituir una ventaja para esta nueva agricultura. Es de notar, asimismo, que el enorme potencial energético, reflejado en luminosidad y temperatura, fundamento de las nuevas cosechas, que proporcionan casi tres mil horas de sol anuales, había contado más como rémora que condición favorable para una cerealicultura sumamente aleatoria y, casi siempre, de parvos rendimientos. Como condiciones climáticas también favorables han de valorarse mucho inviernos muy suaves (enero, 12-13 °C) y casi inexistencia, dada su rareza, de heladas.

A pesar de esta llamativa mutación de inconvenientes en ventajas, el déficit de agua no ha hecho sino intensificarse en los últimos años; para enjugarlo o, al menos, paliarlo, se recurrió a la extracción desmedida y excesiva de recursos hipogeos, con riego o grave problema de salinización. Así, aridez, salinidad, microirrigación y horticultura de ciclo manipulado se dan hoy cita en la región climática del sureste ibérico. Los nuevos procedimientos de riego, concretados primordialmente en el goteo, constituyen piedra angular de los sistemas recientes de producción agrícola, que sitúan entre las áreas de mayor renta agraria (Almería es, por este concepto, la segunda provincia española) algunas que, secularmente, figuraron entre las más desheredadas. Los citados métodos de cultivo han repercutido ampliamente en la economía, paisaje y poblamiento de la franja costera del sureste ibérico; buena prueba de ello son los nuevos municipios de Pilar de la Horadada y, sobre todo, El Ejido, segregados de los términos de Orihuela y Dalías respectivamente, procesos a lo que se añade el llamativo engran-

(62) MARTÍN GALINDO, J.L.: *Almería. Paisajes Agrarios, Espacio y Sociedad*, Valladolid, 1988, 499 pp. GIL OLCINA, A.: "Aridez, riego localizado y agricultura de vanguardia en el litoral murciano de Águilas", *Los Paisajes del Agua*, Universidades de Valencia y Alicante, 1989, pp. 213-222. MORALES GIL, A.: *Aspectos geográficos de la horticultura de ciclo manipulado en España*, Alicante, Univ. de Alicante, 1997, 168 pp.

decimiento de otras pequeñas entidades, como, por ejemplo, Campohermoso en Níjar. De destacar es que El Ejido ha pasado de 2.641 habitantes, en 1960, a 46.832 en 1991 con una poderosa corriente inmigratoria, últimamente de mano de obra extranjera, que no ha dejado de acarrear problemas.

La aseveración de que la franja litoral del sureste ibérico encierra la horticultura de ciclo manipulado española pecaría notoriamente de inexacta, al olvidar o minusvalorar importantes manifestaciones de la misma en el resto de la costa mediterránea, vertiente atlántica meridional y archipiélago canario, con diversas especializaciones y peculiaridades. Cabe, en cambio, afirmar, sin reservas, que nada resulta equiparable, por entidad y trascendencia, a la sorprendente mutación que en este último tercio de siglo ha experimentado la marina almeriense, singularmente la banda que, entre 36°41' y 36°47' N, con anchura media de diez kilómetros, se alarga treinta, teniendo por límites el Mediterráneo y, al norte, la Sierra de Gádor. Es de resaltar que en esta agricultura intensiva de alto valor los sistemas de riego (5.500 m³/ha/año en el Campo de Dalías) son muy eficientes, debido a la generalización del riego por goteo, microclima creado por los cobertizos de plástico, técnica del enarenado, redes de transporte y distribución entubadas, y, por último, balsas de regulación.

La rúbrica de horticultura de ciclo manipulado engloba en el sureste peninsular áreas bien diferenciadas por su orientación productiva, procedencia y calidad de los recursos hídricos, sistemas de cultivo, cuantía de las inversiones por unidad de superficie, parcelarios, tipos de explotaciones, regímenes de tenencia de la tierra, grado de asociacionismo y modo de comercialización. Subrayemos, también, los puntos débiles de una actividad agrícola que conlleva serio riesgo económico, particularmente por los condicionamientos del mercado exterior, con precios muy volátiles. Dependencia permanente del exterior es la que se padece respecto de la investigación agronómica, particularmente acusada en la adquisición de semillas de

variedades híbridas, pagadas, casi literalmente, a “precio de oro” (un kilogramo de semilla de tomate puede exceder ampliamente del millón de pesetas), a multinacionales holandesas, que controlan y monopolizan este mercado, cuya importancia y trascendencia no es preciso encarecer.

Aspecto digno de mención son los impactos ambientales desfavorables de la horticultura de ciclo manipulado. Uno, bien perceptible, es de alcance paisajístico, al afear los cobertizos de plásticos espacios costeros de gran belleza; y sus consecuencias no se limitan al plano puramente estético, aun siendo éste por sí mismo tan valioso y digno de protección, sino que pueden condicionar negativamente el potencial turístico del área afectada. Pero añadamos, a continuación, que en el haber de la horticultura de ciclo manipulado, al aire libre o bajo plástico, se contabilizan, en cambio, consecuencias altamente positivas, tales como mejora del nivel de vida, propagación de un dinamismo económico que trasciende al municipio y la comarca, generación directa e indirecta de empleo, inversión del proceso migratorio y estabilización o fuerte incremento demográfico, y aportación sustancial de ingresos a la balanza comercial.

Ya se ha aludido, reiteradamente, el deterioro de aguas por sobreexplotación de acuíferos, y a ello se suman daños que puede ocasionar al suelo el sistema de fertigación inherente al riego localizado, si aquél no es renovado o adecuadamente lavado. Problema por resolver es también la eliminación de materiales de desecho, que van desde los plásticos, por su carácter no biodegradable, de cobertizo, pequeños túneles y acolchados a la fibra de roca y otros soportes artificiales de los cultivos hidropónicos.

Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional de 1993 y nuevos planteamientos

Aunque la Ley de Aguas de 2 de agosto de 1985 sitúa entre sus objetivos prioritarios, y prácticamente como culminación y compendio de todos ellos, la pla-

nificación hidrológica, hasta abril de 1993 no se remitió al Consejo Nacional del Agua el Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional, cuya ambiciosa meta, fiel al legado de Costa, era una sustancial reestructuración hidrográfica del territorio español peninsular. En esencia, su filosofía, en palabras del entonces Secretario de Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente, sostenía que *“la primera solución es regular mejor dentro de cada cuenca, ahorrar, mejorar las infraestructuras; pero si, aún así, se plantea, inexorablemente, la necesidad de conectar cuencas, ha de tenerse en cuenta que las cuencas no son más que una división administrativa, ya que el agua es de todos los españoles, y así se recoge en la Ley de Aguas”*. El contenido de la Ley de Aguas de 1985, de clara inspiración hidrológica, y el del Anteproyecto, esencialmente hidráulico, no eran acordes; la falta de sintonía resulta evidente. En efecto, el Anteproyecto no suponía el final de la política hidráulica inspirada un siglo antes por Costa, sino su ápice. Buena prueba de ello es que uno de los párrafos más célebres del polígrafo aragonés, el dedicado al Esera (*“Yo soy la sangre de la Litera, pero no corro por sus venas, y por eso la Litera agoniza... Recogedme, sigue diciendo en su infatigable canturía el río Esera; no seais ciegos ni desidiosos, ni desmañados ni cobardes; recogedme a mí, recoged a mi compañero el río Ara, recoged a nuestro hijo común el Cinca; derramadnos por un sistema arterial de venas y brazaes a través de vuestros campos...”*), sea recordado y remedado por la Memoria del Anteproyecto en los términos siguientes: *“... la próxima ley da solución definitiva a problemas pendientes, y esto en vísperas del comienzo de un nuevo siglo, en el cual el viejo sueño de Costa se hará, por fin, realidad, si bien no se limitará a su querida Litera: el Esera y otros numerosos Eseras recorrerán la piel de España y sus aguas límpidas serán, recordando el estilo poético de Costa, su sangre, su oro, el camino de la liberación y de la opulencia colectiva”*.

Aspectos particularmente polémicos, entre los contemplados en el texto original, fueron trasvases, nue-

vos regadíos, precio del agua, optimización de su consumo y reciclaje del recurso, así como la creación de la denominada Entidad de Derecho Público para el Equilibrio Hidráulico Nacional (EHNA). Al referido Anteproyecto se hicieron 1.143 alegaciones en el Consejo Nacional del Agua; a la vista de las cuales el Ministerio de Obras Públicas redactó su “Informe sobre las propuestas de modificación del Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional”. Las novedades del mismo eran, en síntesis, las siguientes: A) Se mantenía la duración del Plan Hidrológico Nacional para un período de veinte años con carácter de “Plan Director del Agua”, si bien con la introducción de programas plurianuales revisables cada 5 años. B) Para el primer lustro (1995-2000) se preveía una inversión global de un billón de pesetas, así como la declaración de interés general de una serie de infraestructuras y la ejecución de cinco trasvases “menores” (Guadiana 2 –Guadquivir, Guadiana Menor– Almanzora, Almanzora– Sur de la cuenca del Segura, Guadiana–Majaceite y Otai-ven Norte 1), que movilizarían, en conjunto, 391 hm³. C) Los denominados “grandes trasvases”, es decir, los procedentes de Norte-Duero y Ebro, incluidos en dicha Ley, quedarían supeditados a una declaración de interés general en otro acto legislativo en el plazo de tres años. Los trasvases actuales (550 hm³) pasarían, según la propuesta de aquel informe, a 3.210 hm³ anuales, volumen inferior en 561 hm³ al que figuraba en la redacción del Anteproyecto. En suma, el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente mantenía su criterio de que los trasvases “menores” y los macrotrasvases resultan imprescindibles y necesarios para resolver situaciones gravemente deficitarias en determinadas áreas, ubicadas, salvo algunas excepciones, en la vertiente mediterránea. E) La transformación en regadío afectaría a una superficie entre 400.000 y 600.000 ha, cifra esta última fijada inicialmente. Por último, se potenciaría el ahorro de agua, hasta alcanzar 2.100 hm³ anuales, mediante la racionalización de usos, al tiempo que se incrementaría la reutilización de aguas residuales y la desalación de agua marina. La

inversión total, prevista al comienzo en 3,6 billones de pesetas, subía en el Informe a seis billones.

Por su muy diferente grado de implicación en el asunto crucial de los trasvases, auténtico nudo gordiano del referido Anteproyecto, no puede extrañar que la actitud de la Comunidades Autónomas haya sido, y sea, asimismo diversa: mientras unas asumen protagonismo y levantan la voz, en pro o en contra, otras lo han hecho con sordina o permanecen al margen. Como ejemplo prototípico, aun cuando son siete las comunidades autónomas más o menos envueltas en el trasvase Tajo-Segura, los enfrentamientos se vienen produciendo entre Castilla-La Mancha, de un lado, y Valencia y Murcia, de otro ⁶³.

Interesa, sobremanera, recordar, siquiera sea brevemente, la actitud de las distintas Comunidades Autónomas respecto del desvelado Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional. Sin duda, la clave del esbozado Plan de 1993 era el Ebro, y por ello afectaba de manera especial a Aragón, cuya respuesta, bien temprana, fue el denominado “Pacto del Agua”, propuesto conjuntamente al Gobierno central por todas las fuerzas políticas representadas en el parlamento regional. Dicho pacto, cuya incorporación al Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional era una exigencia irrenunciable, suponía, según el entonces presidente del gobierno de Aragón, entre otros extremos, los siguientes: *“El Pacto del Agua es un documento de progreso y de respeto. Los más de 221.000 millones que se invertirán en obras de regulación durante los próximos 20 años deben constituirse como motor fundamental para garantizar nuestro desarrollo económico, la ordenación de nuestro territorio y, en definitiva, solventar un puñado de reivindicaciones históricas que no han perdido vigencia... Es, en definitiva, una reserva de 6.550 hectómetros cúbicos para que nuestros cultivos, nuestras industrias y nuestras gentes rieguen la ilusión de una mañana que descansa en un proyecto real... Y esta postura obliga a solicitar una reserva*

genérica de 11.200 hectómetros cúbicos para la cuenca del Ebro y, sobre todo, a apoyar de forma contundente el criterio de elaborar estudios de viabilidad de los hipotéticos trasvases antes de tomar cualquier decisión. Esta postura... se traduce en un claro posicionamiento en contra de los trasvases como principio. Creemos que se deben agotar todas las alternativas antes de plantear cualquier trasvase, que los derechos de las cuencas cedentes deben prevalecer sobre los de las cuencas receptoras...” ⁶⁴.

Referencia sumamente significativa constituye lo acaecido en el Consejo Nacional del Agua, el 20 de julio de 1994, con motivo del preceptivo informe de dicho órgano sobre el Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional, donde la controversia interregional en materia de trasvases se puso de manifiesto por medio de la serie de alegaciones incorporadas a aquél como votos particulares. Dicho informe resultó positivo por mayoría, si bien con la oposición de los representantes de Galicia, Castilla y León y Castilla-La Mancha, así como de ecologistas y comunidades de regantes. Por su parte, Aragón reclamó la inclusión detallada en el Anteproyecto del susodicho Pacto del Agua. Con exquisita corrección formal, pero absoluta firmeza, el presidente de Castilla y León, comunidad directamente afectada por el anunciado macrotrasvase del Duero, hizo saber que su gobierno no se oponía al mismo siempre que éste se efectuase desde las cercanías de la frontera portuguesa, planteamiento que suscita la protesta de la nación vecina, ya muy quejosa de las intervenciones españolas en Guadiana, Tajo y Duero. En el mismo orden de cosas, el presidente de Castilla-La Mancha, al hilo de unas declaraciones del Ministro de Obras Públicas, pertenecientes a su mismo partido político, afirmó: *“Hace falta ser más modestos en el discurso y más previsores y diligentes en la actuación. Un país no puede confiar su futuro al cielo. Los Gobiernos no deben hacer rogativas, sino ser previsores... No se puede aprobar un Plan Hidrológico*

(63) GIL OLCINA, *Op. cit.*, p. 59.

(64) MARCO BERGES, J.: “Agua: justicia y solidaridad”, *Diario El País*, 21-VIII-1994, p. 10.

*Nacional contra media España, y esa memoria del Plan Hidrológico Nacional la han votado a favor muchos altos funcionarios, pero la han votado en contra Castilla y León, Castilla-La Mancha, los usuarios y todos los ecologistas que están en el Consejo Nacional del Agua. La solución de la España seca hay que buscarla en la España húmeda, pero hasta el momento se está buscando la solución de la España seca dentro de la propia España seca, y esto no es razonable”*⁶⁵.

Como denominador común, las comunidades con cuencas cedentes sostuvieron que era inexacto hablar de excedentes cuando distaban de tener cubiertas satisfactoriamente sus necesidades de abastecimiento y sus regadíos eran susceptibles de ampliación; una vez formuladas estas exigencias y estimadas muy generosamente las reservas de futuro, reclamaban el más que discutible derecho de ser ellas quienes declarasen la existencia o no de excedentes, y, en algún caso, se reclamaba, además, un canon compensatorio. Es de resaltar, en este sentido, que las regiones autónomas teóricamente cedentes no figuran entre las más desarrolladas; de ahí que frente a la “solidaridad hidráulica” invocada por las Comunidades Autónomas mediterráneas y el propio gobierno central, aquéllas esgrimieran la “solidaridad de rentas”.

A reducir estas tensiones no ayudaron, ciertamente, la falta de acuerdo entre los partidos de implantación nacional en un asunto de Estado de singular trascendencia, la creciente tendencia de las Comunidades Autónomas a la patrimonialización del agua y la carencia de un Proyecto de Plan Hidrológico Nacional suficientemente elaborado, y todo ellos en el marco de una durísima sequía en gran parte de España, cuya causa y responsabilidad no eran exclusivamente meteorológicas.

El triunfo del Partido Popular en las elecciones generales de 1996 ha supuesto, en primer lugar, un notable cambio de procedimiento para la elaboración

del Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional; los hitos fundamentales del nuevo camino emprendido son: aprobación de los planes hidrológicos de cuenca por Real Decreto de 24 de julio de 1998, publicación en 1999 del Libro Blanco del Agua, reforma de la Ley de Aguas de 2 de agosto de 1985 por la de 13 de diciembre de 1999, y como hechos más notorios de este nuevo planteamiento cabe destacar los siguientes: particularmente difíciles y laboriosas han resultado las negociaciones en los planes hidrológicos de las cuencas del Júcar y Segura, debido, sobre todo, a las reivindicaciones y exigencias del gobierno autonómico de Castilla-La Mancha; es de resaltar asimismo que la superficie de nuevos regadíos que suman los planes hidrológicos de cuenca sube a 1.194.000 hectáreas, es decir, el doble de la propuesta por el Anteproyecto del Plan Hidrológico Nacional de 1993, con la particularidad adicional de que el 55% de dicha extensión corresponde al Ebro y el 21% al Duero, ríos ambos que habrían resultado afectados por los macrotrasvases propugnados en aquél. A diferencia, el Avance del Plan Nacional de Regadíos (Informe de Síntesis), divulgado en 1995, tan sólo contemplaba la transformación de 228.000 hectáreas, poniendo el acento en la modernización de 1.100.000, o sea, el 32% de las 3.435.000 hectáreas de regadío actuales.

Ha de destacarse también que el Libro Blanco del Agua sólo reconoce la existencia de déficit estructural en la cuenca del Segura, restringiendo así, en principio, a ésta la necesidad ineludible de transferencia de caudales foráneos, valoración que no comparten otras comunidades autónomas, en especial las de Valencia y Cataluña, demandantes asimismo de trasvases; cuestión ésta que, si bien el ministerio de Medio Ambiente ha intentado reducir al mínimo, constituye aún el nudo gordiano del Plan Hidrológico y su principal fuente de dificultades, en estrecha relación con peticiones anacrónicas de ampliación de regadíos poco rentables o inviables en las cuencas teóricamente cedentes.

(65) Declaraciones del Presidente de la Junta de Castilla-La Mancha, José Bono, al Diario ABC, 31-VIII-1994, pp. 26-27.

A diferencia de lo sucedido con la más que centenaria Ley de Aguas de 13 de junio de 1879, no han transcurrido tres lustros sin que la de 2 de agosto de 1985 experimente sustanciales modificaciones, relativas, sobre todo, a la cesión privada de los derechos de uso del agua, la participación del capital privado en la realización de obras hidráulicas y decidida apuesta por la desalación de aguas. Ha de subrayarse que la Exposición de Motivos de la Ley de 13 de diciembre de 1999, que reforma la de 2 de agosto de 1985, alude de pasada, sin insistencia alguna, y recurriendo a una expresión de contenido más amplio, “reasignación de recursos”, a los trasvases, para poner decididamente el énfasis en la intensificación del ahorro de agua, control de su gasto, reutilización de residuales, lucha contra la contaminación y desalación de aguas salobres y marinas.

Con fecha de 15 de julio pasado, es decir, un día después de la presentación al Consejo de Ministros por el de Medio Ambiente del tan esperado borrador de anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional, que el

Gobierno resolvió remitir al Consejo Nacional del Agua no sólo a efectos de su debate e informe, preceptivo pero no vinculante, sino para que se complete en dicho foro, escribí unas líneas al respecto que hoy, cuando ya ha sido expuesto por el titular de Medio Ambiente al alto órgano consultivo, y se conoce la propuesta de transferir, desde el Ebro, 180 hm³ a Cataluña, 300 a la Cuenca del Júcar, 430 a la del Segura y 90 a Almería, reitero en su integridad. El tenor de dicho párrafo era el siguiente: “Olvidado el macrotrasvase Norte-Duero, con dificultades internacionales y oposición de Castilla y León, y restringido el del Tajo, las expectativas para atender las peticiones murciana, valenciana y catalana, se centran exclusivamente en el Ebro, auténtica clave, no citada, pero sí evidente, de este primer borrador de Anteproyecto. Ocioso resulta encarecer que éste, por inacabado, apenas puede ser tenido por tal, y asimismo ha de ganarse el calificativo de hidrológico, con el riesgo latente de que si no plantea una adecuada gestión del agua, acabe por no merecer otro que el trasnochado de hidráulico”.

El agua en la antigüedad

▀ *José E. Torres Sotelo*

Hablar del agua en muchas regiones de España es una cuestión importante, pero hacerlo en Orihuela lo es aún más, debido a que aquí existe una cultura del agua muy arraigada, así como una gran sensibilidad hacia todos los temas relacionados con este vital recurso.

Sin lugar a dudas el agua es el recurso natural más crucial de cuantos disponemos. Ya, en el siglo VI a. C., Tales de Mileto dijo que el agua era el principio y fin de todas las cosas y en el siglo XV Leonardo da Vinci la definió como el motor de la naturaleza.

La historia del agua obviamente va ligada a la de la humanidad y a la de las civilizaciones. En épocas remotas el agua fue el recurso natural polarizador que condicionó la asociación de los hombres primitivos, quienes se reunieron y habitaron en las cavernas o grutas prehistóricas configuradas en las rocas calizas por la dinámica de las aguas cársticas.

La práctica del riego es tan antigua como la humanidad, pues históricamente el regadío ha sido el precursor de las civilizaciones, hecho admitido por la Sociedad Británica de Antropología.

Efectivamente las más antiguas civilizaciones se establecieron a orillas de los grandes ríos (Tigris,

Éufrates, Nilo, Indo, Amarillo...), en donde asentaron sus núcleos urbanos más importantes, dado que el agua ha sido siempre un recurso primordial para el desarrollo económico y social, así como para la propia estabilidad de las civilizaciones. Siglos más tarde estas civilizaciones orientales llevaron el regadío a Europa y África.

Tal fue en la antigüedad la importancia de los ríos Tigris y Éufrates para la región de Mesopotamia, cuna de las primeras civilizaciones, que han sido llamadas civilizaciones de carácter hidráulico o fluvial.

Actualmente se admite que los sumerios no fueron los primeros habitantes de Mesopotamia, sino que viniendo del exterior se impusieron a los habitantes semitas de la Baja Mesopotamia, hoy Irak.

Los sumerios, pueblo de avanzada cultura, desarrollaron los sistemas de riego hacia mediados del IV milenio antes de Cristo, consiguiendo excedentes agrícolas que exportaban a los pueblos próximos.

El primer lugar en sus concepciones religiosas lo ocupaba el agua, como principio fundamental de la agricultura. Tal importancia concedió esta civilización al agua que llegó a divinizarla a través de Ea que era el

dios del Apsu (agua dulce) y padre del dios de la agricultura Marduk, siendo Tiamat el dios del agua salada.

El shaduf que todavía puede verse actualmente a orillas del Nilo, es un artilugio inventado en la antigua Mesopotamia para la extracción de aguas superficiales en pozos y cauces.

La rueda que fue inventada en el IV milenio antes de Cristo, fue también utilizada para elevar el agua mediante el impulso de la propia corriente (rueda hidráulica) o por tracción animal.

En algunos textos religiosos, de escritura cuneiforme sobre tablillas de arcilla, se menciona el diluvio sumerio, hacia el año 2500 a. C., lo que ha sido interpretado, por algunos, como el diluvio bíblico.

Algunas ciudades sumerias, como la antigua Ur en la desembocadura del Éufrates, tuvieron que ser abandonadas o trasladadas debido a la salinización de los terrenos de regadío de los que dependían, por no disponer de una red de drenaje agrícola adecuada al manejo del agua de riego que practicaban.

Los acadios, pueblo de origen semita como los asirios y caldeos, se introdujeron en Mesopotamia y en el siglo XVIII a. C. tuvieron como rey a Hammurabi que unificó territorialmente a Mesopotamia convirtiendo a la legendaria ciudad de Babilonia en la capital del imperio.

El código de Hammurabi estableció en sus 282 artículos una serie de sanciones en función de los daños que se causaban a la sociedad. Dicho código, conservado en el Museo del Louvre, puede considerarse básico en la historia del Derecho y está escrito, sobre una columna de diorita de 2,25 m de altura, en lengua acadia con caracteres cuneiformes que se leen de arriba hacia abajo.

Las penas que se aplicaban eran de tipo económico, a pagar en plata o cereal, y físico mediante castigos corporales e incluso la muerte.

Las disposiciones sancionadoras en el caso del riego están recogidas en los artículos 53 al 56 y se refieren a daños que los regantes pueden causar en parcelas próximas a las suyas.

El artº. 259 dice que si un hombre roba una rueda de riego de un campo tendrá que pagar cinco siclos de plata, moneda hebrea, al dueño de la máquina. Lo que confirma la existencia de este primitivo artilugio para el riego.

Los asirios, procedentes de la Alta Mesopotamia (actual Kurdistán), región montañosa con duras condiciones climáticas, eran nómadas y guerreros. Conquistaron Mesopotamia estableciendo su capital en Nínive, que tenía la biblioteca más importante del mundo antiguo. Para abastecer a dicha ciudad, con aproximadamente 100.000 habitantes en el siglo VII a. C., los asirios construyeron el primer acueducto del que se tiene conocimiento históricamente.

Los fértiles suelos de Mesopotamia, en los que algunos situaron el paraíso terrenal, se salinizaron por un mal manejo del agua de riego y por falta de drenaje. La fertilidad de estos suelos todavía no se ha recuperado, siendo las cosechas actuales aproximadamente entre la mitad y la cuarta parte de las originarias.

Hace unos 5.000 años se construyó en el río Nilo la primera presa para el riego junto a la ciudad de Menfis, antigua capital de Egipto, a unos 22 km al Sur del Cairo. En China se construyó hace unos 4.000 años la presa de Tu-Kiang que todavía funciona.

Los nabateos en el N. O. de Arabia, entre el Mar Rojo y el río Éufrates, ponían en riego zonas del Néguev, desierto situado al sur del actual estado de Israel.

Los acadios y asirios practicaron las ordalias o pruebas del agua. Eran “pruebas judiciales” de carácter mágico o ritual, en las que se utilizaba el agua como elemento natural, para demostrar la culpabilidad o inocencia de un acusado. Este tipo de “pruebas” que se siguieron practicando durante la Edad Media en algunos tramos del río Rin, aún siguen vigentes en algunas comunidades primitivas de Asia, África y Oceanía.

Las clepsidras o relojes de agua, permitían medir el tiempo durante la noche, cuando no podían utilizarse los relojes de sol. El tiempo se medía vertiendo agua desde un depósito de nivel constante a otro aforado, mediante marcas, que se iba llenando de agua.

El célebre oráculo de Delfos, en la antigua Grecia, que tenía lugar en el templo erigido a Apolo, al pie del Monte Parnaso, utilizaba el agua de una fuente sacra próxima, cuyo caudal había sido canalizado para que atravesara los bajos de dicho templo. Los oráculos solían ser poco precisos o ambiguos, por lo que en muchos casos había que consultar posteriormente a un adivino para que, previo pago, lo interpretara.

En las zonas áridas, en la antigüedad, los derechos a la propiedad del agua eran anteriores a los de la propiedad de la tierra. Ni siquiera la propiedad del agua estaba adscrita a la de la tierra como sucedió siglos más tarde en muchos regadíos tradicionales de las huertas de Valencia, Murcia y Granada.

En algunas comunidades rurales del sureste asiático todavía el suministro de agua sigue afectando a la propia institución matrimonial, como sucedía en la antigüedad.

Entre las obras realizadas para captar aguas subterráneas destacan los qanats o galerías de escasa pendiente practicadas en Persia, Armenia y Egipto para captar aguas freáticas en zonas montañosas. Asimismo en época de los faraones se construyeron pozos, en Egipto, para captar aguas confinadas.

El denominado pozo de Jacob fue excavado en roca con una profundidad próxima a los 105 m.

A continuación vamos a resumir algunas opiniones o trabajos, relacionados con el agua, de relevantes personas en la antigüedad.

- Hipócrates (s. V al IV a. C.), recomendaba que las aguas contaminadas se filtraran e hirvieran antes de beberlas.
- Platón (s. IV a. C.), advirtió de la gran importancia del dinámico binomio agua-bosque.
- Aristóteles (s. IV a. C.), consideraba que los gobernantes debían garantizar a su pueblo, como primera necesidad, el suministro de agua.
- Arquímedes (s. III a. C.), estableció las leyes de la flotación e inventó su conocido tornillo para elevar aguas.

- Ctesibius (s. II a. C.), diseñó un órgano musical hidráulico, el hidraulis, en el cual la presión del agua servía para producir el movimiento del aire a través de los tubos. Así mismo inventó la bomba aspirante-impelente.
- Vitrubio (s. I a. C.) en su libro 10º de arquitectura trató de la captación y distribución del agua, así como de su calidad en función de los tipos de suelos.
- Columela (s. I), en su Tratado de Agricultura (Re Rústica) señala la necesidad de evacuar de los campos el exceso de agua.
- Frontinus (s. I), escribió *Curator aquorum* (Control de las aguas), que es un tratado sobre métodos de distribución de las aguas y de su aforo.

En España tenemos gran cantidad de obras hidráulicas (acueductos, canales, pequeñas presas) realizadas durante la dominación romana. Pero es a partir del siglo IX con la invasión de los árabes cuando el regadío recibe un gran impulso en nuestro país, al introducirse nuevos cultivos (arroz, cítricos, algodón, caña de azúcar, morera...), pues nuestras condiciones climáticas determinaron la necesidad del riego, no sólo para poder diversificar los cultivos, sino también para asegurar las cosechas.

Los árabes asimismo también introdujeron en España la agricultura nabatea (Escuela de Granada), traída desde la Arabia pétrea, que estaba basada en la observación climática.

Establecieron para el riego un sistema equitativo de turnos, para la distribución alícuota de las aguas en función de la superficie regada.

Introdujeron el concepto de las filas, que se basaban en el caudal fluyente de los ríos y definían volúmenes de agua proporcionales al mismo.

El Tribunal de las Aguas que es la institución de justicia, todavía activa, más antigua del mundo, fue creado a finales del siglo X bajo el califato de Abderraman Anasir Lenidaba.

El jueves 19 de noviembre de 1992 el Tribunal de las Aguas, cuyo fallo es inapelable, juzgó un caso cier-

tamente curioso frente a la puerta de los Apóstoles de la Catedral de Valencia.

La denuncia fue por una “sorregá”, infracción habitual de riegos que provoca, desde hace siglos, muchas reclamaciones, debido a que por negligencia, en la mayoría de los casos, un agricultor al regar su campo puede inundar campos vecinos ocasionándoles un cierto daño.

Lo atípico del caso, que comentamos, consiste en que esta inundación no causó daño en cosechas, sino que afectó a un terreno que acababa de ser nivelado para el riego, con gran precisión, mediante la técnica del plano láser. La sentencia del Tribunal de las Aguas condenó a los causantes del daño a pagar el coste de una nueva nivelación en dicho campo. Nadie podría haber imaginado que unas normas sancionadoras inspiradas en el Código de Hammurabi y traídas por los árabes a Valencia, fueran a ser aplicadas miles de años más tarde a nivelaciones realizadas con tal grado de precisión.

Al finalizar el siglo XII los regadíos de las huertas de Valencia, Murcia y Granada se encontraban entre los más avanzados y fecundos de la época.

Las obras hidráulicas que se realizaron en la más remota antigüedad, e incluso las ejecutadas hasta principios del siglo XX, se basaban exclusivamente en los conocimientos empíricos existentes sobre esta materia. Leonardo da Vinci puso de manifiesto esta circunstancia cuando afirmó que *“al tratar del agua hay que ale-*

gar primero una experiencia y después una razón”.

Sólo cuando al principio del siglo XX la Ingeniería Hidráulica se constituyó en una ciencia semiempírica, como rama de aplicación de la Mecánica de los Fluidos Incompresibles, se armonizó el razonamiento analítico con la experimentación.

No obstante, en la actualidad y en general, el regadío tiene aún pendiente el asimilar su perfeccionamiento tecnológico, pues millones de hectáreas, en todo el mundo, se siguen regando como en tiempos ancestrales, con la excepción de algunas regiones en las que la creciente competencia entre los distintos usos del agua está generando una intensa presión social para que aumente la eficiencia del riego.

También, actualmente, se sigue produciendo la salinización de los terrenos de regadío en proporciones preocupantes, por las mismas causas que hemos citado en la antigüedad. Hoy en día hay unos 25 millones de hectáreas de regadío, en diferentes fases de salinización, fundamentalmente en China, India, Pakistán, Irak y Egipto, es decir, algo más del 9% de todo el regadío mundial.

Terminaré comentando una frase del Santo amante de la naturaleza Francisco de Asís que cuando se refería al agua decía: *“La hermana agua, muy útil, preciosa, casta y humilde”*.

Hoy podemos decir que la hermana agua es más útil y preciosa que nunca, pero por el contrario cada día es menos casta y humilde.

Antecedentes históricos del trasvase del Júcar: la utopía hidráulica de la burguesía alicantina en el siglo XIX*

▀ *Pedro Díaz Marín*

A mediados del siglo XIX la vida social, política y económica de Alicante está regida por un grupo de comerciantes y propietarios de tierras, emprendedores y dinámicos. El comercio era la principal fuente de acumulación, pero muchos conjugaban las prácticas mercantiles con otras actividades económicas, como el turismo o los servicios y, sobre todo, con la explotación de propiedades rústicas en la Huerta y en otros lugares de la provincia, donde habían invertido importantes sumas en la adquisición de tierras. La agricultura intensiva de regadío, aunque minoritaria, jugó un papel fundamental en el desarrollo económico del País Valenciano, cuya área regada creció a lo largo de la centuria un 87% (22). En cuanto a la comarca de Alicante, el amillaramiento de 1854 refleja una superficie de regadío de 1.743 hectáreas, el 13,8% del total de la superficie cultivada. A principios del siglo XX la zona regada se había extendido, según datos de Figueras Pacheco, a 2.400 hectáreas (26). El esfuerzo realizado por los propietarios alicantinos había sido considerable, y es una muestra de su interés en fomentar una

agricultura comercial e intensiva, basada en la ampliación de las zonas irrigadas.

Dentro del País Valenciano, la Huerta de Alicante era un importante regadío, aunque de menor entidad que otros como el valle del Turia o las Huertas de Gandía o de Orihuela (12). Ahora bien, uno de los graves problemas con los que se enfrentaba la agricultura alicantina era la escasez de agua, que llegaba a afectar también al abastecimiento para consumo humano. El problema era endémico, pero en períodos de prolongada sequía se hacía más acuciante su resolución, por cuanto agravaba la precaria situación de jornaleros y colonos en el límite de la subsistencia, pudiendo derivar en alteraciones del orden público. Además, se trataba de un asunto que rebasaba el marco local y afectaba a una parte importante de la provincia con un acusado déficit hídrico, que propiciaba el predominio, en la superficie de regadío, del riego temporal (19) y encarecía el precio del agua, que podía suponer más de la tercera parte del coste del cultivo del trigo en la Huerta (Tabla 1) (13).

* Agradezco al profesor Joaquín Melgarejo sus sugerencias y comentarios.

Tabla 1
Gastos del cultivo del trigo en reales por tahúlla. 1860

| Partidas | Clase de tierra | | | | | |
|--------------------------|-----------------|------|-----|------|-----|------|
| | 1ª | | 2ª | | 3ª | |
| Preparación de la tierra | 25 | 13% | 30 | 19% | 30 | 22% |
| Estiércol | 17 | 9% | 12 | 8% | 10 | 8% |
| Agua | 68 | 34% | 50 | 32% | 44 | 34% |
| Peón para la siembra | 22 | 11% | 18 | 12% | 10 | 8% |
| Simiente | 12 | 6% | 12 | 8% | 10 | 8% |
| Arado de la tierra | 10 | 5% | 8 | 5% | 6 | 5% |
| Siega | 18 | 9% | 6 | 4% | 5 | 4% |
| Acarreo | 5 | 3% | 2 | 1% | 2 | 2% |
| Trilla | 21 | 10% | 17 | 11% | 12 | 9% |
| Total | 198 | 100% | 155 | 100% | 129 | 100% |

La magnitud del problema desencadenó numerosas iniciativas para solucionarlo. Desde 1838 hasta 1848 el gobierno político de Alicante había tramitado 23 solicitudes relativas a iluminación de aguas para riegos con resultados relativamente positivos (21). Pero el agua que necesitaba una agricultura en expansión era claramente insuficiente, lo que provocó entre los agricultores numerosos contenciosos, asociados a la ampliación del regadío y a las transformaciones económicas, sociales y políticas que comportaba (23), y que ni siquiera las ordenanzas de riego redactadas precisamente en los años centrales del siglo XIX pudieron evitar. En este sentido son significativos los litigios mantenidos por los propietarios de la Huerta de Alicante con los regantes de la cuenca alta del Monnegre, o los que sostuvieron los de las cuencas media y baja del Segura con el terrateniente de Hellín Ginés Balcárcel, ambos motivados por las retenciones de agua en la cabecera de los ríos (1, 2 y 14).

La falta de agua era un asunto grave, hasta el punto de que, como afirmaba el jefe político de la provincia en 1848, *“a más o menos precio, siempre hubo aquí, en lo que se llama huerta, que comprar el agua hasta para beber”* (21). La solución, la gran esperanza podría ser la captación de las aguas sobrantes del Júcar. La idea no era nueva, había surgido en el siglo XV

impulsada por el Concejo ilicitano y se replanteó en las dos centurias siguientes (16). Pero fue con la llegada del liberalismo en el siglo XIX cuando el proyecto del Júcar se reactivó, estimulado por la mentalidad productivista de una burguesía deseosa de salvar la limitación que suponían para el desarrollo las sequías periódicas que sufría la provincia. En 1841 los primeros contribuyentes presentaron una exposición a la Diputación manifestando la imposibilidad de pagar las contribuciones *“por la esterilidad de su campo y huerta, dimanante de la extraordinaria sequía que se experimenta y de la escasez de agua que fluye del pantano”* (3). Por esas fechas la situación política parecía propicia para los intereses alicantinos. Se hallaba al frente del gobierno político Andrés Vicedo, un destacado progresista y convencido esparterista interesado en fomentar el desarrollo de la provincia. Fue entonces cuando tomó cuerpo el proyecto de canalizar las aguas sobrantes del Júcar, auspiciado por la empresa valenciana *Viuda de Torroja e Hijos*, que había solicitado permiso al gobierno para realizar dicha canalización hacia sus propiedades de Alicante. El ejecutivo, por Real Orden de 27 de junio de 1841, dispuso que se reuniera en Almansa una junta compuesta por comisionados de las provincias de Albacete, Valencia y Alicante, más los ingenieros civiles de las dos últimas, para dis-

cutir la utilidad del plan y los medios con que realizarlo (17).

El representante valenciano se opuso al proyecto por los perjuicios que su realización podía causar a la agricultura valenciana en general, y a los pueblos de la ribera del Júcar en particular. Lo consideraba legalmente irrealizable por la sencilla razón de que no había aguas sobrantes en el Júcar. El río estaba sobreexplotado y sus aguas eran insuficientes para regar todas las tierras valencianas con derechos históricos sobre aquellas. Tampoco el fomento de la agricultura era una razón en favor del trasvase. Con el agua del Júcar se obtenía arroz suficiente para abastecer toda España, además de permitir la existencia de una poderosa industria sedera. Por otro lado, había que tener en cuenta que las tierras de la ribera sólo servían para el cultivo del arroz, y de faltarles el agua se convertirían en eriales. Y concluía que, en el caso de haber aguas sobrantes, éstas debieran aplicarse a regar la llanura de Cuart y la huerta de la ciudad de Valencia, privilegio que había adquirido esta ciudad en 1393. Es decir, para el representante valenciano no había excedentes y el agua del Júcar debía utilizarse en la provincia de Valencia para potenciar su desarrollo agrario. Conviene recordar que semejantes argumentos utilizaron quienes se opusieron al trasvase del Tajo al Segura en la década de 1970 (20).

El comisionado alicantino quiso desvanecer la oposición de Valencia argumentando que de ninguna manera se trataba de perjudicar a esta provincia, ya que Alicante pedía solamente las aguas sobrantes, es decir las no aprovechadas por los regadíos valencianos, bien por exceso, bien porque se perdían en el mar al limpiarse las acequias todos los años. El proyecto podía resultar útil para Valencia, pues, al desviar el agua hacia Alicante, se evitaría que el exceso de caudal *“en lo de las tierras de labor, inutilice a las veces las cosechas, destruya las fincas urbanas, arrastre consigo poblaciones enteras y amenace la acequia real de Alcira y la carretera, que por decirlo así, le sirve de base en algunos de los puntos amenazados”* (17),

como había sucedido en repetidas ocasiones. El desvío no suponía menoscabo alguno de los privilegios históricos de la provincia de Valencia, ya que se le aseguraba *“no tomar las aguas del Júcar hasta que excedan de la cantidad necesaria”*. El trasvase no supondría competencia para la agricultura valenciana, dado que sus producciones *“son de naturaleza distinta y nunca esperables en Alicante, y viceversa, por la distinta calidad de los terrenos”*. Además, el suministro de agua en época del cultivo de arroz estaba garantizado. En cuanto al privilegio concedido por la monarquía a la ciudad de Valencia para regar el llano de Cuart y otras zonas, no debía ser un obstáculo, ya que no se había ejecutado en más de cinco siglos.

El representante de la provincia de Albacete juzgó razonable el planteamiento de la provincia de Alicante y desechó los argumentos del comisionado valenciano. Por su parte, los ingenieros también apoyaron el proyecto de trasvase, dado que iba a reportar ventajas a ambas provincias. Sí había excedentes, pues por tales había que considerar no solamente las aguas que sobraban después de los riegos, sino las que aportaban las avenidas y crecidas. La provincia de Valencia debía tranquilizarse con respecto a posibles abusos, pues la toma de agua se realizaría garantizando las necesidades máximas de todas las acequias. Y concluían que, puesto que se respetaban todos los derechos de la provincia de Valencia y se le disminuía el perjuicio causado por las inundaciones, no había razón para oponerse al proyecto.

El 14 de agosto los representantes alicantinos en la reunión de Almansa presentaron un informe a la Diputación, que preparó una larga exposición dirigida al gobierno *“en apoyo de la justa solicitud de esta provincia”* (4). La Diputación destacaba que tanto los comisionados de Albacete y de Alicante como los ingenieros coincidían en dos cuestiones fundamentales: que la canalización del Júcar no perjudicaba a la provincia de Valencia, y sí la beneficiaba; y que las medidas técnicas y administrativas que podían tomarse preservaban a Valencia de cualquier tipo de abuso.

Las ventajas para la provincia de Alicante eran evidentes. La ampliación e intensificación del regadío comportaría un aumento del valor de la tierra y, consiguientemente, del beneficio que produce. La Diputación calculaba el valor de las 30.675 tahúllas sin agua en 13.803.750 reales, a 450 reales cada una, que, al 3%, producían una renta anual de 408.112 reales. Con la traída del agua que asegurara el riego, el valor de cada tahúlla subiría a 2.000 reales, con lo que el conjunto de la Huerta ascendería 61.350.000 reales, que, al 10%, producirían una renta anual de 6.135.000 reales. Por consiguiente, la tierra se revalorizaría en términos de capital en 47.546.250 reales, y en términos de renta en 5.726.888 reales. A estas cifras habría que añadir las resultantes de ampliar el área de regadío a nueve porciones más de tierra de igual superficie que la de la Huerta, lo que supondría un aumento del capital de 427.916.000 reales, y un aumento de la renta de 42.797.675 reales (Tabla 2) (4).

de la provincia, lo que redundaría en beneficio de la industria fabril valenciana (7). El mismo mes la Junta de Regantes y los Ayuntamientos de Muchamiel y San Juan volverán a insistir en las mismas demandas, calificando de injusta e incomprensible la oposición de Valencia (8). El 17 de octubre Luis María Proyet -que había representado a la provincia en la reunión de Almansa- enviaba a Espartero un documento apoyando el proyecto de la empresa viuda de Torroja, toda vez que no se lesionaban los intereses valencianos al garantizarse *“el caudal necesario a su conservación”* y, por el contrario, sí se podría sacar de la miseria *“a la más extensa parte de la provincia de Alicante”* (9).

Pero la resistencia valenciana no flaqueaba. En una exposición remitida al Senado, la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia rebatía los argumentos alicantinos. Reconocía el estado lamentable y de desolación en que se hallaba la provincia de Alicante, donde *“la población perece de miseria”*

Tabla 2
Revalorización de la huerta con las aguas sobrantes del Júcar, según la Diputación

| | Valor Tahúlla | Valor Total | Capitalización % | Renta |
|----------|---------------|-------------|------------------|-----------|
| Sin agua | 450 | 13.603.750 | 3 | 408.112 |
| Con agua | 2.000 | 61.350.000 | 10 | 6.135.000 |

El 27 de agosto de 1841 el Ayuntamiento de Alicante presentó una exposición al gobierno en el mismo sentido. Pero, mientras que la Diputación subrayaba las expectativas de prosperidad que abría la canalización del Júcar, el Ayuntamiento ponía el acento en la miseria que envolvía a la mayor parte de la población, cuya situación mejoraría con la ejecución del trasvase (6). Por su parte, la Junta de Comercio, en otra exposición remitida a Espartero el día 31, resaltaba el contraste entre la postración de la provincia de Alicante y la prosperidad de la de Valencia, tradicionalmente favorecida por el gobierno central. Añadía que el desarrollo de Alicante incrementaría la demanda potencial

como consecuencia no sólo de la sequía, sino también, deslizaba intencionadamente, de *“la falta de orden en el aprovechamiento de las aguas de riego”*. Pero rechazaba que hubiese aguas sobrantes en el Júcar, pues *“falta en todos tiempos una suma considerable de ellas para la dotación completa del terreno que debieran fecundar”* (10). Con esta frontal oposición no pudo salir adelante el proyecto de ley para apertura del canal del Júcar presentado en el Senado el 30 de marzo de 1842 por los generales Ferraz y Seoane. Pero la tenaz resistencia de Valencia no desanimó a la burguesía alicantina, que desde el Ayuntamiento y la Diputación, y apoyada por las instituciones políticas y

económicas, va a impulsar otra importante campaña en favor del trasvase del Júcar a mediados de siglo, coincidiendo con el gobierno de los moderados. La campaña se intensificó en momentos críticos por las crisis de subsistencias, como 1846 ó 1847, o en coyunturas revolucionarias, como 1848.

En una *Memoria* dirigida a los diputados en Cortes el 7 de diciembre de 1844, el Ayuntamiento de Alicante les recordaba que la cuestión del trasvase era vital para la provincia y era necesario removerla para *“acostumbrar a los adversarios de Valencia a la idea de que algún día tengan que ceder”*, para lo que habría que desarrollar una campaña que captara el apoyo de opinión pública (5). Un año después, el 13 de noviembre de 1845 el Cabildo municipal y algunos propietarios de San Juan solicitaron al gobierno la ejecución del trasvase arguyendo la crítica situación de la provincia. Al mes siguiente, el 9 de diciembre, el gobierno pidió al jefe político un informe acerca de las causas que influían en la emigración a Argelia. La razón era la falta de trabajo, consecuencia de la decadencia de la agricultura derivada de la sequía, que había obligado a muchos propietarios a *“dejar incultas sus tierras por no perder, además del trabajo de cultivarlas, el reducido valor de su sementera”*. El remedio era proporcionar agua mediante la canalización de los excedentes del Júcar. El jefe político subrayaba que la sequía había convertido a la provincia en un campo estéril que mermaba la riqueza agrícola en detrimento tanto de los particulares como del Estado. Las aguas del Júcar podrían aliviar la situación de muchas familias infortunadas. El gobierno debía desechar recelos infundados y rivalidades funestas para los intereses de Alicante (14).

En abril de 1846 se celebró una junta de representantes de los ayuntamientos posibles beneficiarios del trasvase y de regantes que insistió en el estado de penuria de la provincia y pidió el trasvase del Júcar (21). A principios de 1847 el arquitecto municipal, acompañado por autoridades provinciales y locales y por algunos propietarios, hizo un recorrido por las

zonas por donde podía trazarse el cauce para trasvasar las aguas del Júcar. Tras el reconocimiento del terreno, Jover proyectó un canal de 30 leguas de longitud, 30 palmos de ancho y 20 de profundidad, con capacidad para trasvasar 700 hilos de agua (15), calculando en más de 900.000 las tahúllas que podrían regarse. Se trataba de un proyecto de interés para el Estado y para las provincias de Alicante, Albacete y Valencia. La magnitud de la empresa excedía las posibilidades de la provincia, la iniciativa debía corresponder al gobierno que, además de disponer de los medios técnicos y financieros, era quien únicamente podía conciliar los intereses opuestos. Este expediente se trasladó al ejecutivo, que el 29 de junio de 1847 promulgó una Real Orden reconociendo la posibilidad y justicia de la empresa y pidió al jefe político que pasara una copia del informe del arquitecto al ingeniero del distrito a fin de que trazara el plano y formara el presupuesto para la ejecución de la obra. La oligarquía alicantina creía ya la cuestión resuelta a la vista de las diligencias practicadas. Pese a reconocer que fueron hechas *“sin el detenimiento debido y sin la asistencia de personas inteligentes en el ramo de ingenieros hidráulicos”*, esperaba que estas dificultades serían fácilmente obviadas (14).

No fue así. El ingeniero del distrito emitió un informe lleno de cautela. Descartaba como inútil el de Jover, pues los datos ofrecidos en él procedían de noticias tomadas en los pueblos, y de operaciones que sólo permitían formarse una vaga idea de la viabilidad del proyecto. Antes de decidir sobre una obra de semejante magnitud e importancia era imprescindible asegurarse de la posibilidad absoluta de ejecutarla e instruir el expediente facultativo en debida forma. Ello exigía tiempo y gastos de consideración, que excedían las posibilidades de los ingenieros de distrito. Así, el expediente pasó a la Dirección General de Obras Públicas.

Durante unos años el proyecto pareció olvidarse, pero en 1852 salió de nuevo a la luz, cuando Juan Bautista Peironet y Félix Sevilla solicitaron permiso para realizar operaciones geodésicas con el fin de elaborar

una memoria sobre el aprovechamiento de los sobrantes del Júcar. El ejecutivo accedió, aunque no era la empresa privada quien debía encargarse del asunto sino la Dirección General de Obras Públicas. Los regantes valencianos, como contrapartida a la demanda de los agricultores alicantinos pidieron en 1855 el trasvase del Júcar al Turia, una idea que provenía del siglo XIII y se había relanzado en el siglo XVIII (24). En septiembre de 1859 Peironet ya había presentado al gobierno los planos con la memoria y presupuestos para obtener la concesión del canal del Júcar (25). Parecía que éste iba a salir adelante, y en enero de 1861 el gobernador de la provincia pasó a informe de la Junta de Agricultura, Industria y Comercio el expediente instruido sobre el canon que había de exigirse a los regantes del canal proyectado por Peironet. La Sección de Agricultura de la Junta consideró como sistema más aceptable el de la venta de las aguas en pública subasta, de tradición en la zona (18). Los regantes del bajo Júcar y la RSEAP de Valencia se opusieron nuevamente, incidiendo en la insuficiencia del agua disponible para la superficie de regadío (12).

Pero la idea del trasvase no se abandonó. En la *Memoria* sobre el estado de la agricultura en la provincia redactada en 1875 por el ingeniero secretario de la Junta de Agricultura, Industria y Comercio, se volvió a pedir al gobierno que concediera los sobrantes del Júcar, y que autorizara a la Diputación a obtener recursos con tal objeto (27). En 1879 el gobierno autorizó a Rafael Santonja a realizar estudios para efectuar el trasvase, que no culminaron en su ejecución (11).

La utopía había llegado a su fin. Pero, aunque la canalización del Júcar no se realizó, la idea “*germina todavía en la mente de todos los hombres que se interesan por el bien de su provincia y es indudable que temprano o tarde las aguas de aquel río han de venir a convertir nuestros estériles campos en una de las huertas más frondosas de la Península*” (17), escribía Nicasio Camilo Jover en los años 60 del siglo XIX. Parece que, finalmente, la utopía hidráulica de la burguesía alicantina se cumplirá y las aguas del Júcar lle-

garán a la provincia de Alicante, resolviendo el suministro del agua de las comarcas del Vinalopó, l'Alacantí y la Marina Baja, tal y como soñaron los alicantinos del siglo XIX, aunque con finalidades bien diferentes, ya que no es la agricultura, sino el turismo y los abastecimientos los principales beneficiarios.

Bibliografía

1. ALBEROLA, A: *El pantano de Tibi y el sistema de riegos en la huerta de Alicante*, Alicante, Instituto de Estudios Juan Gil Albert, 1984.
2. ALBEROLA, A. “Las disponibilidades hídricas en la huerta alicantina: un problema tradicional”, en Antonio GIL OLCINA y Alfredo MORALES (eds): *Demanda y economía del agua en España*, Alicante, Instituto de Cultura Juan Gil Albert, 1988.
3. Archivo de la Diputación Provincial de Alicante (ADPA), *Libro de Actas*, 7-5-1841.
4. Idem., 14-8-1841.
5. Archivo Municipal de Alicante (AMA), Armario 22, Legajo indeterminado, 1844-1847.
6. *Boletín Oficial de la Provincia de Alicante* (BOPA), 1-9-1841.
7. BOPA, 5-9-1841.
8. BOPA, 5-10-1841.
9. BOPA, 31-10-1841.
10. *Boletín de la Real Sociedad Económica de Amigos del País*, Valencia, 1843, Tomo II, pp. 155-160.
11. BRU, C.: “El trasvase Júcar-Vinalopó”, en Antonio GIL OLCINA y Alfredo MORALES (eds): *Op. cit.*
12. CALATAYUD, S.: “El regadío ante la expansión agraria valenciana: cambios en el uso y control del agua (1800-1916)”, *Agricultura y Sociedad* n° 67 (1993).
13. CONEJERO, V.: *La agricultura en la provincia de Alicante durante el siglo XIX*, Alicante, Diputación Provincial, 1985.

14. DIAZ MARIN, P.: *Después de la revolución. Centralismo y burguesía en Alicante (1844-1854)*, Alicante, Instituto de Cultura Juan Gil Albert, 1998.
15. GIL OLCINA, A.: "Evolución de los grandes regadíos deficitarios del sureste peninsular", en Antonio GIL OLCINA y Alfredo MORALES (eds.): *Op. cit.*
16. IBARRA RUIZ, P.: *Estudio acerca de la institución del riego de Elche y origen de sus aguas*, Madrid. Establecimiento tipográfico de Jaime Ratés, 1914.
17. JOVER, N.C.: *Reseña histórica de la ciudad de Alicante*, Alicante, Imprenta de la viuda de J.J. Carratalá, 1863.
18. *Junta Provincial de Agricultura, Industria y Comercio. Resumen de sus trabajos durante el año 1861, con arreglo al artículo 32 del reglamento orgánico de 14 de diciembre de 1859*. Alicante, Imprenta de la Viuda de Juan J. Carratalá, 1862.
19. LOPEZ GOMEZ, A.: "Riegos y cultivos en la Huerta de Alicante. Evolución y estado actual", *Estudios Geográficos* nº 67-68 (1951), pp. 701-771.
20. MELGAREJO, J.: "El trasvase Tajo-Segura, en el centro de la tormenta política de la transición", *Areas* nº 17 (1997), pp. 129-141.
21. *Memoria redactada por el Sr. D. José Rafael Guerra, Jefe Superior Político de la Provincia de Alicante, en cumplimiento de lo dispuesto por el Sr. D. José María del Castillo, Inspector de la Administración civil del Distrito, en sus oficios de 28 de Julio, 1º y 14 de septiembre últimos*, Alicante, Imprenta de José Marcili, 1848.
22. MILLAN, J.: "L'economia i la societat valencianes, 1830-1914. Les transformacions d'un capitalisme perifèric", en Pedro RUIZ (coord.): *Història del País Valencià. Epoca Contemporània*, Barcelona, eds. 62.
23. PEREZ PICAZO, M.T. y LEMEUNIER, G.: "La evolución de los regadíos sureños en la región de Murcia (siglos XVI-XIX), en Antonio GIL OLCINA y Alfredo MORALES (eds.): *Op. cit.*
24. PIQUERAS, J.: *La agricultura valenciana de exportación y su formación histórica*, Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1985.
25. RAMOS, A.: *Historia de Elche*, Elche, 1970.
26. TONDA, E.: *La ciudad de la transición. Población, economía y propiedad en Alicante durante el siglo XIX*, Alicante, Instituto de Cultura Juan Gil Albert, 1996.
27. VIDAL, J.: *Materiales para la historia económica de Alicante (1850-1900)*, Alicante, Instituto de Estudios Juan Gil Albert, 1986.

La explotación del acuífero de Crevillente mediante la galería de los suizos

► **José Miguel Andreu**

Antonio Estévez

Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Universidad de Alicante

► **Ernesto García-Sánchez**

Dpto. de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández

► **Antonio Pulido-Bosch**

Dpto. de Hidrogeología y Química Analítica. Universidad de Almería

La explotación de las aguas subterráneas de forma artificial puede realizarse a partir de diversas obras de captación, entre las que se destacan como más frecuentes: los pozos, sondeos, zanjas y galerías. La elección del tipo de captación va a depender de diversos factores como la profundidad del nivel piezométrico, el caudal de extracción, coste económico de la captación, etc.

Actualmente, en la parte meridional de la provincia de Alicante las captaciones más frecuentes son los sondeos. La elevada profundidad del nivel piezométrico de la mayor parte de los acuíferos que se extrae agua intensivamente ha provocado que sea esa la única forma de captación viable. No obstante, hasta bien pasada la mitad del siglo XX, en que los acuíferos presentaban niveles piezométricos superficiales y funcionaban generalmente en régimen natural, las galerías horizontales fueron frecuentemente empleadas con el fin de aprovechar las aguas subterráneas. En este sentido, son bastantes los acuíferos de esta región que presentan este tipo de captaciones: Beties, Águilas, Maigmó, Cid, Crevillente... (3). Algunas de estas galerías estuvieron emplazadas en puntos donde se situaba un

pequeño manantial, y su principal objetivo era aumentar el caudal; otras, sin embargo, se perforaron con la intención de encontrar agua.

La Sierra de Crevillente y sus alrededores son un ejemplo en que este tipo de captaciones ha sido frecuentemente utilizado desde hace varios siglos. Las más antiguas datan del siglo VIII realizadas por los árabes (2; 1). Algunas de estas obras no han perdurado hasta nuestros días, otras todavía existen, aunque se encuentran en estado de abandono sin utilización alguna. La galería de los Suizos realizada en el presente siglo es la única que sigue funcionando en la actualidad en el acuífero de Crevillente, si bien, esta galería presenta unas dimensiones y unas particularidades que se alejan bastante del patrón general de lo que hasta ese momento se había realizado para captar las aguas subterráneas de este acuífero.

Situación y características generales de la galería

La galería Riegos de la Salud, más conocida popularmente como galería de los Suizos, por la intervención de éstos en su construcción, está ubicada en el

paraje de La Algueda en la extremidad SW de la Sierra de Crevillente. Su boca de entrada tiene las siguientes coordenadas UTM: X = 683.500; Y = 4235.700; Z = 250 m s.n.m. Esta obra permite extraer las aguas del acuífero de Crevillente.

Se accede a ella por la carretera comarcal que une las poblaciones de Albatera y Hondón de los Frailes. A la altura del km 9, cuando la carretera comienza a adquirir una mayor pendiente, parte un pequeño camino hacia el E que se acerca a la rambla de La Algueda y llega directamente a la entrada del túnel.

La galería tiene una longitud de 2.360 m, de manera que atraviesa la totalidad de la Sierra de Crevillente alcanzando el valle de Hondón de los Frailes; su anchura varía entre 2,5 y 3 m, su altura es de aproximadamente 3,5 m y su pendiente está en torno al 1 por mil. La orientación general de la obra es NW-SE aunque, los distintos tramos de la que se compone presentan orientaciones comprendidas entre N 20 °W y N 70 °W. La parte más externa de la galería está recubierta por un encofrado de hormigón, ya que los materiales en los que se inicia presentan riesgo de derrumbamiento. Después de este primer tramo, se adentra en roca desnuda sin ningún tipo de recubrimiento, permaneciendo así en su mayor parte. Únicamente, en su tramo más interno existe un sector de 20 m en el que, debido al corte de otros materiales deleznable, las paredes y techo vuelven a presentar un recubrimiento de hormigón. Finalmente, hay que destacar que todo el suelo de la galería también se encuentra cementado.

La principal particularidad de esta galería es que no drena el agua de forma natural como cabría pensar, sino que en su interior existen perforaciones verticales que extraen el agua y la vierten al suelo, de forma que ésta discurre libremente por gravedad hacia la boca. En total existen 12 sondeos repartidos en los últimos 500 m. Además, hay dos perforaciones más que desde la superficie del terreno alcanzan el túnel; éstas se utilizan tanto para el suministro de agua al Valle de Hondón de los Frailes, como de respiraderos.

En la actualidad tan sólo 4 de los sondeos disponen

de instalación de bombeo. La capacidad de bombeo alcanza los 350 l/s y el agua se destina principalmente al regadío de distintos parajes de las localidades de Albatera, Crevillente, Elche, Hondón de los Frailes y Orihuela.

Características geológicas del emplazamiento

Desde el punto de vista geológico, la obra se inicia en unas margas blancas pertenecientes al Terciario. El primer tramo que se encuentra encofrado atraviesa las margas; luego un conjunto litológico constituido mayoritariamente por conglomerados y calcarenitas; para finalmente alcanzar el paquete de yesos triásicos (Keuper). Ninguno de estos materiales descritos se puede observar en el interior de la galería.

Una vez fuera de la zona recubierta se cortan unas dolomías grises pertenecientes al Jurásico inferior. Se trata de la litología más abundante a lo largo del túnel, alcanzando prácticamente el tramo final de la galería en donde se emplazan los sondeos. La principal característica de estas rocas es su alto grado de tectonización, ya que se encuentran intensamente brechificadas. A lo largo del tramo expuesto se pueden observar numerosas fracturas y diaclasas; algunas de éstas se presentan abiertas y han llegado a sufrir procesos de karstificación. En la parte final del túnel se produce el contacto de las dolomías con otro conjunto carbonatado en el que se pueden destacar como más representativas las calizas micríticas y calizas oolíticas también del Jurásico inferior. El contacto que presentan estas dos litologías es de falla. Al igual que las dolomías, las calizas se encuentran fuertemente tectonizadas, por lo que en distintos sectores aparecen muy brechificadas dejando una gran porosidad secundaria. Además, muestran gran abundancia de fracturas rellenas con precipitados de calcita, y una mayor proporción de fracturas abiertas que las dolomías, algunas de las cuales llegan a sobrepasar los 50 cm. A veces las fracturas abiertas están rellenas de fragmentos de rocas que constituyen auténticos conglomerados. Los diferentes

cantos presentan una pátina de calcita que los une y que evidencia el paso de aguas saturadas en bicarbonato. Finalmente, también se ha podido constatar la presencia de materiales margosos y margocalizos de coloraciones amarillas y grises que han sido atribuidos a la formación Zegrí de edad Jurásico inferior.

El origen de la galería

La idea de la galería parte de principios de la década de los años 50 en que se producen una serie de contactos entre una firma española y la empresa Etablissements pour L'Investigation du Sous-Sol (INVESTIS-SOL) de Suiza. El objetivo de las reuniones es la intención del alumbramiento de aguas subterráneas en las inmediaciones de Hondón de los Frailes ante la hipótesis de que podría haber un gran reservorio de agua. Como resultado de las negociaciones se llegó a la creación en 1955 de la entidad mercantil Riegos de la Salud, S.A., quien realizó su construcción y la gestionó hasta 1988.

La primera etapa del proyecto se centró básicamente en las investigaciones de carácter hidrogeológico y en la elaboración del proyecto de captación. Estas investigaciones contaron con la colaboración de la empresa francesa Entreprises Industrielles et de Travaux Publics (EITP). Durante ese tiempo se realizaron estudios geofísicos, sondeos mecánicos, ensayos de permeabilidad, campañas piezométricas, etc... (4).

Los principales resultados de las investigaciones concluyeron con que la depresión de Hondón de los Frailes formaba un reservorio lleno de agua constituido por calizas jurásicas y delimitado en su mayor parte por terrenos triásicos. A partir de los registros piezométricos de varios años se comprobó que el nivel permanecía bastante estable en torno a la cota 260 m s.n.m. Dicha estabilidad indujo a pensar que las entradas del sistema debían ser semejantes a las salidas. La interpretación del funcionamiento hidrodinámico concluyó con que la depresión de Hondón presentaba

conexión hidráulica con los relieves carbonatados septentrionales hasta alcanzar La Mancha. A través de dichos relieves el acuífero manchego encontraba una de sus principales vías de salidas por la depresión de Hondón, de tal forma que la barrera triásica de las sierras de Albaterra y Crevillente actuaba de cierre y provocaba el embalse del agua. Por su parte, las salidas se relacionaron con fugas existentes en dicha barrera triásica, que de forma oculta alimentaban el acuífero de la Vega Baja, alcanzando finalmente el mar entre las localidades de Guardamar y Santa Pola. Este funcionamiento justificaba las intensas corrientes de aguas salobres encontradas en sondeos profundos de la Vega Baja y la existencia de puntos de descarga de agua continental entre dichas localidades. El hecho de que el agua presentase características salobres se debía al enriquecimiento salino tras su paso por la barrera triásica.

Dada la gran extensión de la cuenca que finalmente era drenada por la depresión de Hondón, las estimaciones sobre el volumen que recibía la depresión superarían los 12 m³/s; no obstante se decidió extraer 5 m³/s con el fin de no generar una sobreexplotación y originar descensos piezométricos muy acusados.

En 1955 la Jefatura de Minas autorizó un primer proyecto para el alumbramiento de 5 m³/s en las inmediaciones de Hondón de los Frailes. Este proyecto implicaba esencialmente la construcción de un pozo central y de dos galerías divergentes (X e Y). Estas galerías estaban previstas con una sección transversal de 30/32 m², con dos canalizaciones en su parte inferior y con espacio suficiente en su parte superior para poder realizar la excavación permitiendo la utilización de una máquina especial que realizase las perforaciones laterales horizontales, oblicuas e incluso verticales.

Sin embargo, en 1956 se elaboró un segundo proyecto que fue aprobado ese mismo año y que sustituía al anterior. El nuevo proyecto conllevaba una ampliación y una serie de modificaciones considerables; las principales diferencias eran la construcción de un túnel

que partiendo del paraje de La Algueta atravesaría toda la Sierra de Crevillente y alcanzaría las galerías diseñadas para el primer proyecto (X e Y) y la sustitución del pozo central por una galería inclinada que se uniera a la de La Algueta. De esta forma, la evacuación de las aguas se haría por el túnel de La Algueta y la explotación tendría un menor coste. Inicialmente el túnel estaba previsto que fuese idéntico a las galerías X e Y con la misma disposición interior, pero sin dispositivo de captación.

Cuando en 1960 se terminaron de resolver todos los aspectos administrativos y legales y se obtuvo la autorización de la obra, se decidió establecer dos fases en la ejecución del trabajo. La primera, a coste reducido, implicaba que inicialmente la galería se iniciaría con menor sección y se suprimía momentáneamente la galería inclinada. Con ello se trataba de comprobar la repuesta real del acuífero y verificar que era capaz de aportar los caudales deseados. Si el comportamiento era el óptimo, se realizaría la segunda fase encaminada a la obtención de los 5.000 l/s. De esa forma se evitaría un gasto inicial muy fuerte y con los beneficios de explotación tras la primera fase se continuaría el proyecto. La realidad fue que nunca se llegó a iniciar esta segunda fase.

Construcción de la galería

La perforación de la galería se inició en 1961 dándose por concluida en 1964. El tiempo invertido fue mayor de lo esperado a causa de las salidas de agua durante su realización. En los trabajos de perforación participaron una treintena de personas que repartidas en grupos de 10 a 12 realizaban tres turnos diarios, por lo que se trabajaba de forma ininterrumpida las 24 horas del día, de lunes a sábado. El domingo era utilizado para realizar un sondeo horizontal de pequeño diámetro en la corta de avance, donde se introducía una carga explosiva y se realizaba su detonación. El objetivo era detectar las posibles acumulaciones de agua que pudiesen entrañar peligro de avenida. Con

ello se aseguraba que los trabajadores pudieran avanzar en la perforación durante la semana siguiente sin riesgo de avenida.

Durante los primeros 400 m se produjeron algunas avenidas de agua como consecuencia del corte de los estratos conglomeráticos y calcareníticos terciarios. Al parecer se trataba de aguas salobres que llegaron a alcanzar caudales de hasta 45 l/s, pero con el tiempo se redujeron hasta valores inferiores a 1 l/s. Aún, en la actualidad existen unos pequeños colectores que recogen este agua e impiden que se mezclen con la bombeada del acuífero. Durante la perforación de los materiales triásicos (impermeable lateral del acuífero de Crevillente) no hubo aporte de agua. No obstante, al salir de estos materiales y entrar en el acuífero de Crevillente *s. str.* aparecieron nuevos puntos surgentes. Se puede destacar una cavidad entre los metros 572 y 574, que aportó un caudal de 55 l/s. Con el avance de la perforación se cortaron nuevos puntos de agua, de forma que los aforos realizados en noviembre/62, enero/63 y febrero/63 presentaron caudales (Q) de 120 l/s, 170 y 200 l/s respectivamente. Este último parece ser que fue el caudal máximo que drenó la galería durante su construcción, ya que posteriormente fueron disminuyendo progresivamente (junio/63: Q entre 160 y 170 l/s; julio/63: Q de 150 l/s). Esta tónica continuó hasta su conclusión, en que dejó de drenar agua debido a la desaturación del tramo superior del acuífero.

En cuanto a la calidad del agua durante la construcción de la galería, apenas se dispone de información al respecto. Una determinación analítica realizada en una surgencia del metro 1.800 presentaba un residuo seco a 180 °C de 1.315 mg/l; se puede destacar los elevados valores de cloruro (410 mg/l) que ya presentaban las aguas en ese tiempo, lo que evidencia la influencia de los materiales salinos del Keuper.

Puesto que al finalizar la galería dejó de manar agua, hubo que realizar captaciones verticales que bombearan el agua hasta su cota, situación que se ha

mantenido hasta la actualidad. En total se realizaron 12 pozos que inicialmente fueron de escasa profundidad (10 m) y elevados rendimientos. Los aforos oficiales realizados en abril de 1970 atestiguaban un caudal total de 612,1 l/s (4), valor algo superior al caudal recomendado en un estudio de 1966 en que se proponía la extracción de 500 l/s (5). Los volúmenes extraídos en la galería han variado entre 3,3 Hm³/año de 1964 a 18,1 Hm³/año de 1980 (6; 3). Estas extracciones, unido a las efectuadas en otros sectores del acuífero, han originado un descenso de los niveles que en el sector de la galería ha sido de aproximadamente 200 m. La pérdida de nivel ha provocado una disminución de los rendimientos de los sondeos, por lo que han debido de ser reprofundizados varias veces hasta llegar a la situación actual en que algunos presentan 300 m de profundidad. A pesar de la reprofundización no todos han conseguido recuperar sus caudales, razón por la cual ahora no se explotan.

Conclusiones

De todas las galerías que se realizaron en el borde meridional de la Sierra de Crevillente, la galería de los Suizos es la única que sigue en funcionamiento. A pesar de que su construcción se realizó a partir de algunos errores en las estimaciones del volumen capaz de explotarse, se trata de una de las obras de captación de aguas subterráneas más importantes de la región. Con una longitud de 2.360 m atraviesa el impermeable lateral del acuífero hasta alcanzar el acuífero que constituía parte de la zona saturada. La realización de dicha captación duró algo más de tres años, tiempo en que se desaturó la parte superior del acuífero. Como consecuencia de este descenso, se perforaron 12 pozos verticales que bombeaban el agua hasta la galería. Las mayores cantidades extraídas se produjeron entre la década de los 70 y 80 alcanzando el máximo en el año 1980 con más de 18 Hm³. Como consecuencia de ello, los niveles han ido perdiendo cota hasta llegar en la situación actual a

más de 200 m de profundidad respecto al suelo de la galería, razón por la cual algunos de sus sondeos perdieron su rendimiento.

Agradecimientos


Queremos mostrar nuestro agradecimiento a D. Vicente Sáez y D. Aurelio Cremades, por su valiosa información sobre la perforación de la galería. Al Excmo. Ayto. de Albaterra y miembros de la SAT 3569, especialmente a D. Salvador Molina por permitirnos realizar nuestras investigaciones en el interior de la galería. También agradecer a EVREN el habernos aportado documentación histórica sin la cual este trabajo no habría podido realizarse. Este trabajo ha sido realizado dentro del marco del proyecto IGCP-448 de la UNESCO y de los AMB95-0243 y HID99-0597 de la CICYT.

Bibliografía

1. ANDREU, J.M. (1997). *Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos de Crevillente, Cid y Cabeçó d'Or (provincia de Alicante)*. Tesis doctoral Universidad de Alicante, 475 p.
2. CAVANILLES, A. (1797). *Observaciones sobre la Historia Natural, Geográfica, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Valencia 1981. Reproducción facsímil de la edición de la imprenta Real. Madrid 1795-97. 2 volúmenes.
3. DUPUY DE LOME, E. y NOVO y CHICARRO (1917). Estudios hidrogeológicos en la provincia de Alicante. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, T. XVII, Ser. 2, 33 p.
4. EVREN (1990). *Estado actual de explotación y posibilidades de actuación en materia de gestión de los recursos y reservas hídricas del acuífero de Crevillente (Alicante)*, 76 p. (informe inédito).
5. NAVARRO, A. y TRIGUEROS, E. (1966). *Estudio*

- | | |
|---|---|
| <p><i>hidrogeológico para la Sociedad “La Salud de San Antonio, S.A., Madrid, 41 p. (informe inédito).</i></p> <p>6. PULIDO-BOSCH, A. (1985). L’exploitation minière de l’eau dans l’aquifère de la Sierra de</p> | <p>Crevillente et ses alentours (Alicante, Espagne). <i>Hydrogeology in the Service of Man, Memoires of the 18th Congress of the A.I.H. Cambridge: 142-149 p.</i></p> |
|---|---|

Balance hídrico bajo tres coberturas contrastantes en la cuenca del río San Cristóbal distrito capital Santa Fe de Bogotá

 **Gonzalo de las Salas**
Carlos García Olmos

Fondo para la protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis"
Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Santa Fe (Bogotá)

Esta investigación fue llevada a cabo durante doce meses por la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con cofinanciación del Fondo Fen Colombia, en la cuenca del río San Cristóbal, Santa Fe de Bogotá, y mostró que no sólo el bosque natural puede sostener a través del tiempo el caudal medio de aguas de un río, sino que también lo pueden hacer especies tales como el ciprés.

La fase experimental se implementó en tres sitios de la cuenca, correspondientes a tres microcuencas homogéneas. Estos lugares están cubiertos cada uno con un tipo diferente de vegetación: ciprés, eucalipto y bosque natural. Se evaluó su comportamiento hídrico.

Caracterización

En la zona se presenta un clima bimodal, correspondiente a dos periodos secos y dos periodos húmedos, según un régimen de lluvias orográficas. Los meses más secos son enero, febrero y junio, y la precipitación promedio es de 1.336 milímetros.

Los suelos de los sitios investigados presentan una

baja densidad relativa (0.3 a 0.7) como indicio de su origen volcánico, la roca madre es una arenisca con diferentes grados de meteorización, y la capacidad de almacenamiento del suelo es del orden del 28%. Los suelos en general hasta los 40 centímetros de profundidad son similares, y van de arcillo limoso a franco-arcillo-limoso, con algunas diferencias en las cantidades de arena, limo y arcilla

Experimentación

La investigación también se adelantó a nivel de microcuencas. Para el efecto se seleccionaron tres:

Microcuenca de la quebrada La Osa. Con una superficie de 6,3 kilómetros cuadrados, cubierta de bosque nativo con especies tales como encenillo (*weinmannia tormentosa*), hayuelo (*mysine sp*), chite (*hypericum sp*), cucharo (*geissanthus andinas*) y chusque (*chusquea sp*) en el sotobosque. El estrato arbóreo superior no sobrepasa los 17 metros.

Microcuenca de la quebrada Paloblanco. De 9,7 kilómetros cuadrados, con cobertura predominante de ciprés (*cupresus lusitanica*).

Microcuenca de la quebrada la Upata. Abarca un área de 3,0 kilómetros cuadrados y tiene una cobertura de eucalipto.

El criterio de selección de microcuencas obedeció a la proximidad entre ellas, minimizando las diferencias de precipitación y suelos, y teniendo en cuenta las tres coberturas vegetales mencionadas.

En cada uno de los tres sitios seleccionados se instrumentó con:

- Un pluviómetro estándar tipo Hellman, de aluminio galvanizado, instalado sobre un bastidor a un metro sobre el piso.

- Tres lisímetros de aluminio, de tensión cero, cada uno con una superficie de 186 centímetros cuadrados de superficie, conectados a una manguera acoplada a un recipiente plástico a fin de estimar el volumen de agua infiltrada.

Los tensiómetros se instalaron a 20, 40 y 80 centímetros de profundidad respectivamente, en cada uno de los sitios seleccionados, para un total de doce.

Cuatro collarines alrededor de los troncos de los árboles en cada una de las coberturas, para estimar el lavado de tallos.

- Tres parcelas de escorrentía de 1 metro x 2 metros, bajo cada cobertura vegetal. El desagüe de la parcela está acoplado a un recipiente por medio de un conducto de caucho. El balde está cubierto para evitar el ingreso de agua diferente a la del escurrimiento de la parcela.

La medición de flujos de agua en cada uno de los dispositivos se hizo durante un año a partir de septiembre de 1995, y los datos se sometieron a los análisis estadísticos de rigor.

Análisis y discusión

El balance hídrico se calculó por diferencia entre ingresos y egresos de agua en cada tipo de bosque en estudio.

Los datos del Centro de Investigaciones Hidrológicas de la empresa de acueducto y alcantarillado de

Bogotá, sitúan la precipitación multianual promedia en 1.190 mm para el periodo 1968-1995. Durante el lapso de tiempo de la presente investigación la precipitación fue de 1.393 mm anuales.

La precipitación interna (PI) es la precipitación que llega al suelo a través de las copas de los árboles. En las coberturas estudiadas este valor corresponde a 72% (BN), 80% (E) y 46% (C). Contrario a lo esperado, no existe una diferencia marcada entre la PI del bosque nativo y la del Eucalipto. Sin embargo, la regresión lineal entre la precipitación total (P) y la precipitación interna (PI) fue altamente significativa según los coeficientes de determinación (R^2) para las coberturas de eucalipto (E) y bosque nativo (BN), no así para ciprés (C). Bruijnzeel (1990), informa sobre una variación entre 75 y 86% para los bosques montanos.

El conocimiento del proceso de interceptación de la lluvia en el bosque ha mejorado considerablemente en las últimas décadas, siendo muy importante para el balance hídrico. De acuerdo a observaciones hechas anteriormente, los resultados obtenidos sobre interceptación en bosques tropicales varían entre 4,5% y 45% de la lluvia total (Bruijzell, 1990). Este mismo autor registró porcentajes entre el 10 y el 24% para bosques montanos, según los estudios más confiables en los cuales utilizaron el 1% de la precipitación interna como contribución del escurrimiento por el tronco.

En este estudio se halló como cifra más alta de interceptación la ocurrida sobre la cobertura de ciprés, hecho que se comprende por la gran capacidad de “humedecimiento” de sus copas. Es de anotar que no era posible de acuerdo con la instrumentación disponible determinar la evaporación desde el follaje, afectada a su vez por el viento, la radiación solar, el tipo de hojas y de estomas y la duración de los aguaceros.

Se considera que los valores medidos deben continuarse tomando, a fin de obtener una mayor precisión, al contarse con una mayor cantidad de datos.

Shuttleworth y Stewart (citados por Bruijnzeel, 1990) revisaron las técnicas para estimar la evapo-

transpiración (EVT) e hicieron una diferenciación general entre métodos de balance hídrico y técnicas micrometeorológicas. El balance hídrico estima la EVT por diferencia e incluye medidas de precipitación, flujo de caudales o drenaje y cambio en la humedad del suelo o en su capacidad de almacenamiento. De otro lado los micrometeorológicos requieren generalmente de una sofisticada instrumentación dentro y fuera del dosel de la vegetación arbórea y por esa razón han sido menos utilizados.

Por ejemplo, en el modelo para estimar evapotranspiración de Penman-monteih (Giraldo, 1989), se tienen en cuenta variables como presión, temperatura, energía disponible, calor específico del aire, presión de saturación de vapor de agua, presión actual de vapor de agua, resistencia aerodinámica, resistencia estomática, constante psicrométrica y densidad del aire.

En este estudio la evapotranspiración real fue determinada indirectamente con la fórmula de Thornthwaite y Matter (1967), que relaciona la evaporación potencial y los índices de retención a baja presión (0,33 Bars) y alta presión (15 Bars); presión existente en el espacio capilar del suelo. Como resultado se obtuvo que la tasa anual de evapotranspiración está alrededor de los 1.000 mm en las coberturas del bosque natural (BN), eucalipto (E) y ciprés (C) seleccionadas para el balance hídrico. Según esta cifra, 62% es la transpiración en bosque natural, 74% en eucalipto y 27% en ciprés. Anteriormente se discutió porqué la cobertura de eucalipto presentó la tasa más alta de transpiración.

Según Bruijnzeel (1990), la evapotranspiración anual esta en el 50% de la precipitación para bosques de bajura en Brasil, Panamá y Surinam, mientras que para bosques naturales montanos este valor oscila en el 13% (Río Macho, Costa Rica), y 64% (Sierra Nevada, Colombia).

Para realizar el balance hídrico en las microcuencas se hizo el trazado de isoyetas, con base en las estaciones de El Delirio, Palo Blanco, El Verjón y Vitelma. De otro lado, se trazaron las isotermas. Tanto las iso-

yetas como las isotermas se definieron para cada una de las microcuencas.

Los caudales de salida de cada microcuenca se midieron mediante estaciones limnimétricas establecidas en el punto de cierre definido para cada una de ellas.

Tabla 1
Balance hídrico en las microcuencas
del río San Cristóbal

| Microcuenca | P (mm) | Q (mm) | ET (mm) | R (lts/seg. (%) | C.E. |
|-------------|-----------|-----------|------------|--------------------|------|
| Palo Blanco | 1443.1 | 1228.9 | 214.2 | 39.0 | 85 |
| La Osa | 1206.1 | 971.1 | 235.0 | 30.8 | 83 |
| Upata | 1435.5 | 599.1 | 746.4 | 19.0 | 28 |

R = Rendimiento hídrico C.E = Coeficiente de escurrimiento

Conclusiones

De acuerdo con los resultados hallados no existió evidencia de que la vegetación natural (BN) evapotranspire menos que las otras dos coberturas vegetales comparadas (eucalipto (E) y ciprés (C). Sin embargo, el almacenamiento de agua en el suelo bajo BN (46%) contra E (42%) y C (36%) sugieren una mayor eficiencia hídrica del BN.

Lima (1986) afirma que bajo condiciones semejantes de sistema radical y de desarrollo, el consumo de agua bajo diferentes coberturas forestales es prácticamente el mismo.

Los parámetros evaluados son referidos a los sitios específicos de esta investigación llevada a cabo durante un año.

En contraposición a lo esperado el mayor rendimiento hídrico (39 litros/seg/ha), se halló en la microcuenca Palo Blanco parcialmente cubierta por ciprés. Pero debe tenerse en cuenta que la superficie arbolada es relativamente pequeña para influir decisivamente en el balance hídrico, y que el tiempo de registro de caudal fue de un año.

Las mayores tasas de transpiración se presentaron en la cobertura de eucalipto tanto *in situ* (756 mm/año), como en la microcuenca (746 mm/año), y las más bajas en la de ciprés (*in situ*, 283 mm/año), (microcuenca, 214 mm/año). Un lugar intermedio ocupó el sitio bajo bosque nativo (626 mm/año) y microcuenca (235 mm/año). Este resultado coincide con la apreciación de que el eucalipto es mayor consumidor de agua. Según el balance hídrico la microcuenca de la quebrada la Upata, con preeminencia de vegetación con eucalipto resultó tener el menor rendimiento hídrico (19 litros/seg/Km²).

La evaporación desde las copas húmedas del dosel no fue medida, para cada una de las coberturas en estudio. Pero los valores de intercepción (I) (20% BN, 28% E y 56% C) concuerdan con los hallados en otros estudios (Ballesteros *et al.*, 1987; Bruijnzeel 1990; Franzen, 1992; Lima, 1976; Grimm y Fassbender, 1981).

Calder (1991), comprobó que las pérdidas por intercepción están determinadas en primer lugar por la capacidad de la copa; es razonable esperar por lo tanto, que tales pérdidas sean menores en la cobertura de eucalipto. De acuerdo con esta apreciación, el alto porcentaje (56%: 745 mm) de pérdida por intercepción arrojado por la cobertura de ciprés, no es insólito. Este valor es compensado por la tasa más baja de transpiración y el mayor rendimiento hídrico.

La infiltración del suelo, calculada utilizando lisímetros de tensión cero colocados a 20 y 40 cm por debajo de la superficie arrojó valores despreciables para el balance hídrico en coberturas vegetales. Teniendo en cuenta la importancia de este parámetro para la regulación del flujo hídrico en las microcuen-

cas, es necesario utilizar una mejor tecnología (por ejemplo platos de cerámica).

La importancia de obtener registros confiables para un óptimo manejo del agua en las cuencas que surten de agua a Bogotá, no se discute. Por lo tanto esta investigación es de trascendental interés, razón por la cual se debe continuar este tipo de estudios.

Bibliografía

- BALLESTEROS M., DE LAS SALAS G. y CARDOZO E. 1987. Introducción al balance hídrico de tres coberturas vegetales en Sabaneta. Fondo FEN COLOMBIA.
- BALLESTEROS, M.M. 1983. Balance hídrico comparativo de una asociación de *Weinmannia* con los bosques de *Pinus* y *Eucalyptus* en la región del Neusa. Tesis de grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional. Bogotá.
- BRUIJNZEEL, L.A. 1990. Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of Knowledge review. Faculty of Earth Sciences. Free University. Amsterdam. The Netherlands. 222 p.
- CALDER, I.R. 1991. Water use of *Eucalyptus*: a review. In: Calder, I.R. & Adlard, P.G. (eds): Growth and water use of forest plantations. Proceedings of an international symposium. Bangalore, India. Forest Department / Oxford Forestry Institute.
- CASTILLO, S.G. Y LOPEZ R.M. 1983. Evaluación del efecto de la cobertura vegetal sobre los caudales de la cuenca hidrográfica del río San Cristóbal. Bogotá, 132 páginas más anexos.

Cuadro 1

Balance hídrico mensual para el Bosque Nativo (mm)

| Año | | 1995 | | | | | | | | 1996 | | | | Total | Prom. |
|-----|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|
| Mes | | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | | |
| 1 | Precipitación | 62 | 94 | 59 | 78 | 87 | 129 | 163 | 168 | 96,5 | 81,3 | 243 | 132,4 | 1393,2 | |
| 2 | Precipitación interna (PI) | 31 | 72 | 50 | 67 | 64 | 97 | 122 | 131 | 69,5 | 30 | 164,4 | 107,8 | 1005,7 | |
| 3 | Escurrecimiento por tallo (Et) | - | 1.03* | 0.41* | 0.55* | 0.74* | 1.03 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 0.67 | 2.14 bj | 1.06 | 11,33 | |
| | % | 0 | 1,1 | 0,69 | 0,71 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,73 | 1,3 | 0,83 | 0,88 | 0,8 | | 0,79 |
| 4 | Ingreso suelo (2+3) | 31 | 73,03 | 50,41 | 67,55 | 64,74 | 98,03 | 123,22 | 132,23 | 70,75 | 30,67 | 166,54 | 108,86 | 1017,03 | |
| 5 | Interceptación (I) | 31 | 20,97 | 8,59 | 10,45 | 22,26 | 30,97 | 39,78 | 35,77 | 25,75 | 50,63 | 76,46 | 23,54 | 376,17 | |
| | % | 50 | 22 | 15 | 13 | 26 | 24 | 24 | 21 | 27 | 62 | 31 | 18 | | 28 |
| 6 | Evapotranspiración | 76,75 | 86,41 | 87,41 | 81,08 | 79,5 | 73,92 | 90,93 | 90,06 | 93,58 | 81,89 | 80,55 | 79,79 | 1001,87 | |
| 7 | Transpiración (6-5) | 45,75 | 65,44 | 78,82 | 70,63 | 57,24 | 42,95 | 51,15 | 54,29 | 67,83 | 31,26 | 4,09 | 56,25 | 625,7 | |
| 8 | Almacenamiento o déficit | -14,75 | 7,59 | -28,41 | -3,08 | 7,5 | 55,08 | 72,07 | 77,94 | 2,92 | 0,59 | 162,45 | 52,61 | 391,33 | |

No registrado

*

Dato ajustado a las tendencias entre Enero y Agosto de 1996

bj

Dato incompleto

Porcentaje transpiración

44,91%

Cuadro 2

Balance hídrico mensual para el Bosque de Eucalipto (mm)

| Año | | 1995 | | | | | | | | 1996 | | | | Total | Prom. |
|-----|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|
| Mes | | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | | |
| 1 | Precipitación | 62 | 94 | 59 | 78 | 87 | 129 | 163 | 168 | 96,5 | 81,3 | 243 | 132,4 | 1393,2 | |
| 2 | Precipitación interna (PI) | 46,5 | 72 | 53 | 61 | 79 | 97 | 131 | 145 | 72,6 | 54,5 | 216,7 | 92,1 | 1120,4 | |
| 3 | Escurrecimiento por tallo (Et) | - | 1.03* | 0.29* | 0.51* | 0.7* | 0.9 | 0.98 | 1.26 | 0.97 | 0.58 | 1.86bj | 1.02 | 10,2 | |
| | % | 0 | 1,2 | 0,49 | 0,65 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,75 | 1,01 | 0,71 | 0,77 | 0,77 | | 0,7 |
| 4 | Ingreso suelo (2+3) | 46,5 | 73,13 | 53,29 | 61,51 | 79,7 | 97,9 | 131,98 | 146,26 | 73,57 | 55,08 | 218,56 | 93,12 | 1130,6 | |
| 5 | Interceptación (I) | 15,5 | 20,87 | 5,71 | 16,49 | 7,3 | 31,1 | 31,02 | 21,74 | 22,93 | 26,22 | 24,44 | 39,28 | 262,6 | |
| | % | 25 | 22 | 10 | 21 | 8 | 24 | 19 | 13 | 24 | 32 | 10 | 30 | | 20 |
| 6 | Evapotranspiración | 78,09 | 87,92 | 88,93 | 82,49 | 80,88 | 75,21 | 92,52 | 91,63 | 95,21 | 83,31 | 81,95 | 81,18 | 1019,32 | |
| 7 | Transpiración (6-5) | 62,59 | 67,05 | 83,22 | 66 | 73,58 | 44,11 | 61,5 | 69,89 | 72,28 | 57,09 | 57,51 | 41,9 | 756,72 | |
| 8 | Almacenamiento o déficit | -16,09 | 6,08 | -29,93 | -4,49 | 6,12 | 53,79 | 70,48 | 76,37 | 1,29 | -2,01 | 161,05 | 51,22 | 373,88 | |

No registrado

*

Dato ajustado a las tendencias entre Enero y Agosto de 1996

bj

Dato incompleto

Cuadro 3

Balance hídrico mensual para la plantación de Ciprés (mm)

| Año | | 1995 | | | | | | | | 1996 | | | | Total | Prom. |
|-----|------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Mes | | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | | |
| 1 | Precipitación | 62 | 94 | 59 | 78 | 87 | 129 | 163 | 168 | 96,5 | 81,3 | 243 | 132,4 | 1393,2 | |
| 2 | Precipitación interna (PI) | 35 | 31 | 10 | 28 | 36 | 58 | 56 | 59 | 28,9 | 48,8 | 179 | 67,5 | 637,2 | |
| 3 | Escurrimiento por tallo (Et) | - | 0,56* | 0,24* | 0,39* | 0,52* | 0,65 | 1,1 | 1,17 | 0,58 | 0,65 | 1,6 | 1,6 | 8,21 | |
| | % | 0 | 0,6 | 0,41 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,67 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,66 | 0,57 | | 0,55 |
| 4 | Ingreso suelo (2+3) | 35 | 31,56 | 10,24 | 28,39 | 36,52 | 58,65 | 57,1 | 60,17 | 29,48 | 49,45 | 180,6 | 68,25 | 645,41 | |
| 5 | Interceptación (I) | 27 | 62,44 | 48,76 | 49,61 | 50,48 | 70,35 | 105,9 | 107,83 | 67,02 | 31,85 | 62,4 | 64,15 | 747,79 | |
| | % | 44 | 66 | 83 | 64 | 58 | 55 | 65 | 64 | 69 | 39 | 26 | 48 | | 57 |
| 6 | Evapotranspiración | 78,98 | 88,92 | 88,95 | 83,43 | 81,9 | 76,07 | 93,57 | 92,67 | 96,3 | 84,26 | 82,89 | 82,11 | 1031 | |
| 7 | Transpiración (6-5) | 51,98 | 26,48 | 41,19 | 33,82 | 31,32 | 5,72 | -12,33 | -15,16 | 29,28 | 52,41 | 20,49 | 17,96 | 283,21 | |
| 8 | Almacenamiento o déficit | -16,98 | 5,08 | -29,95 | -5,43 | 5,1 | 52,93 | 69,43 | 75,33 | 0,2 | -2,96 | 160,11 | 50,29 | 362,2 | |

— No registrado

* Dato ajustado a las tendencias entre Enero y Agosto de 1996

Figura 1

Régimen de lluvias mensuales multianuales. Cuenca del río San Cristóbal - Estación “El Delirio” (1933-1994)

Fuente: Empresa del acueducto y alcantarillado de Bogotá

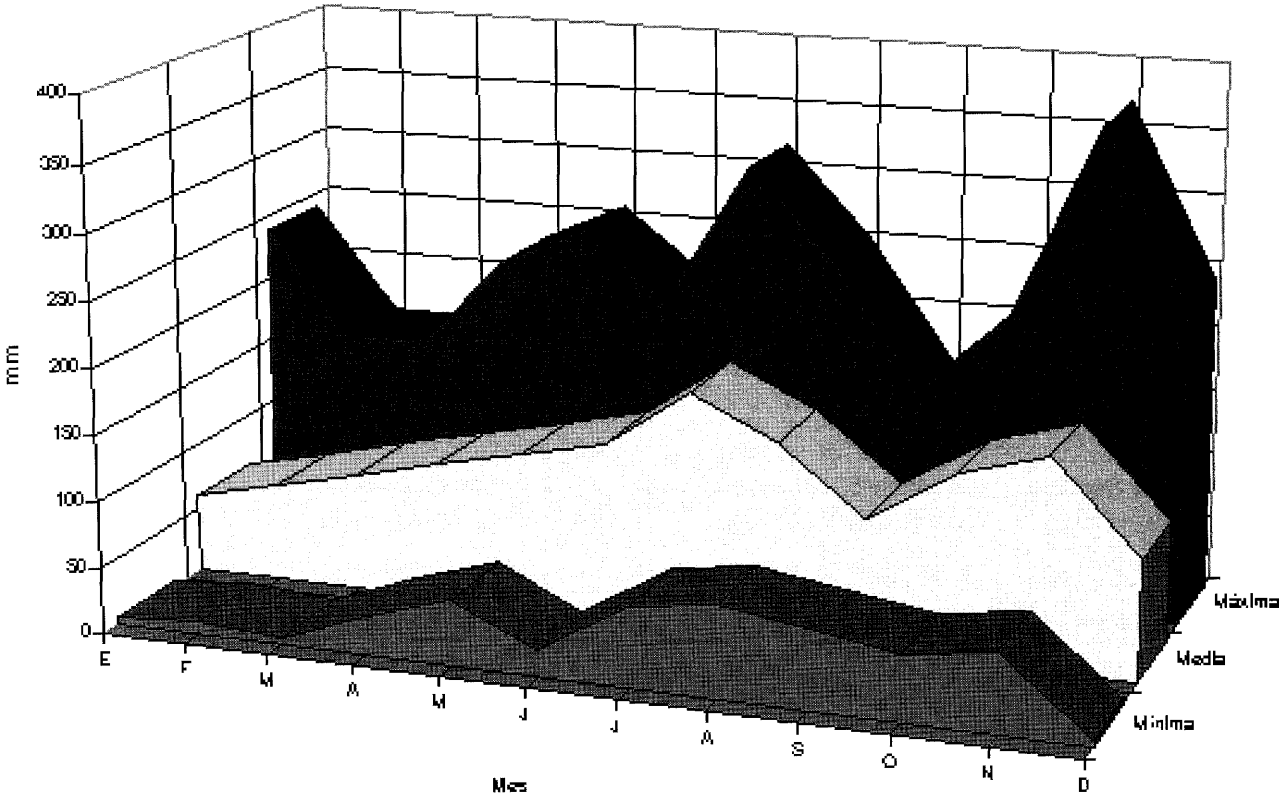


Figura 2
Régimen de caudales mensuales multianuales. Cuenca del río San Cristóbal
Estación “El Delirio” (1927-1990)

Fuente: Empresa del acueducto y alcantarillado de Bogotá

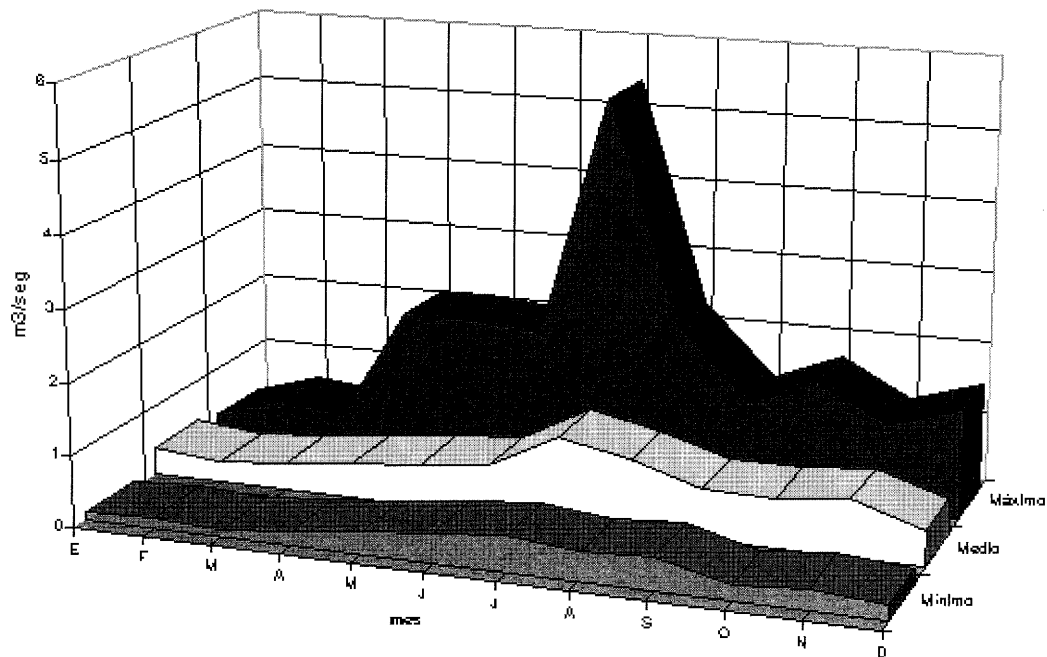


Figura 3
Curvas de regresión lineal para la relación precipitación (mm) - precipitación interna (mm)
en tres coberturas vegetales de la cuenca del río San Cristóbal

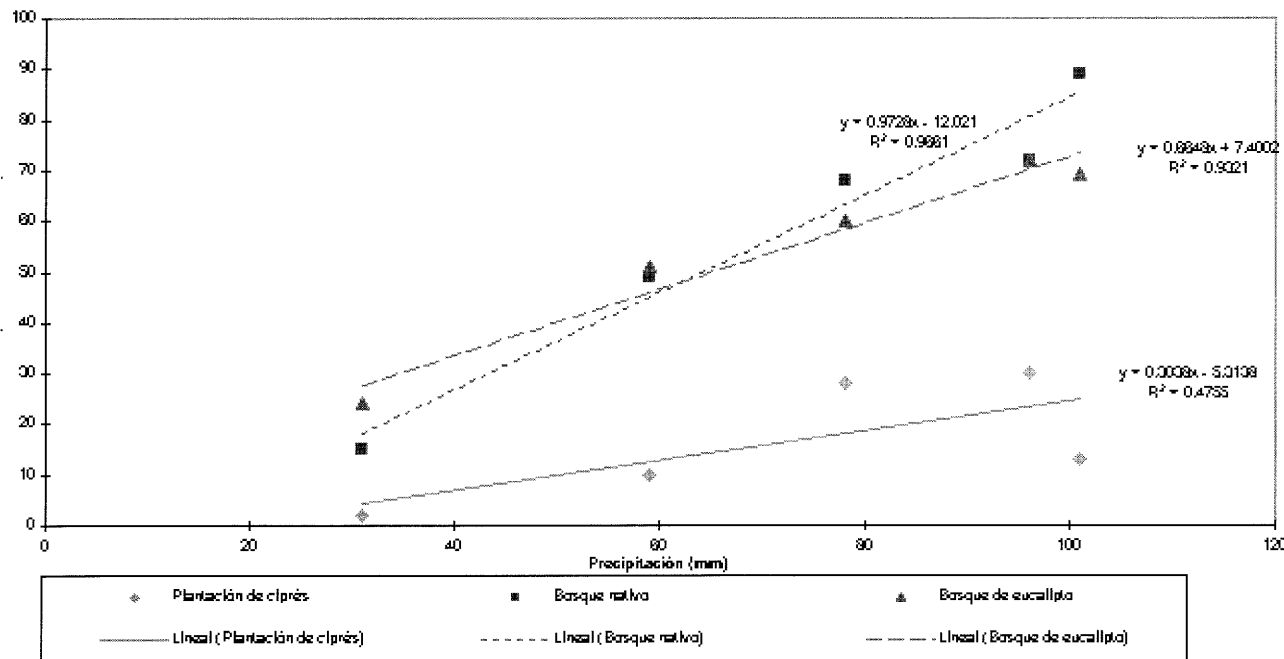


Figura 4
Intercepción de la precipitación en tres tipos de coberturas en la cuenca del río San Cristóbal

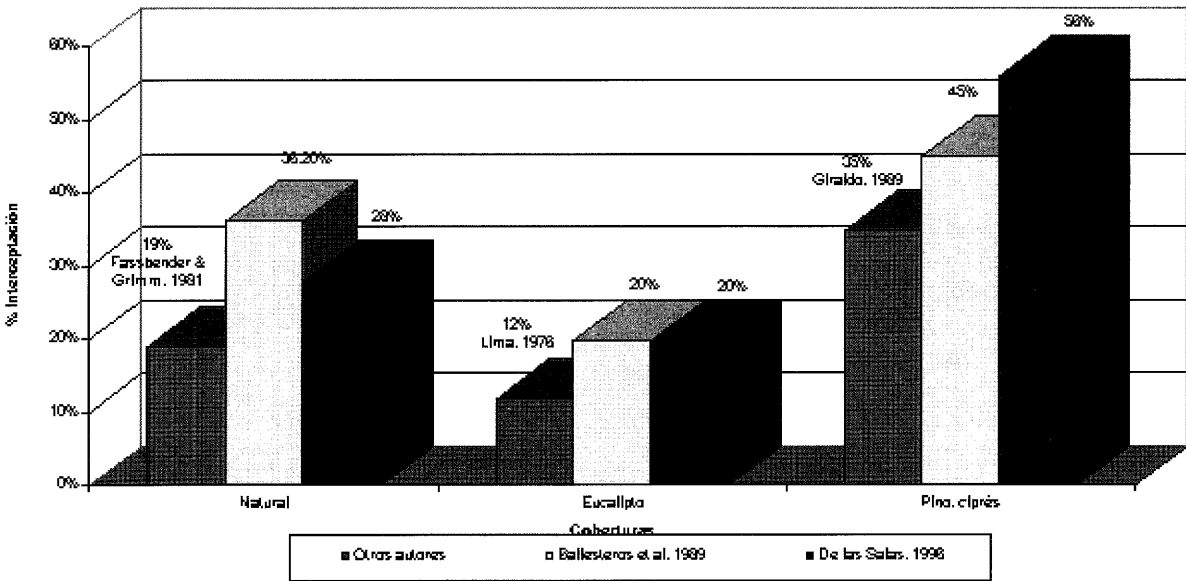
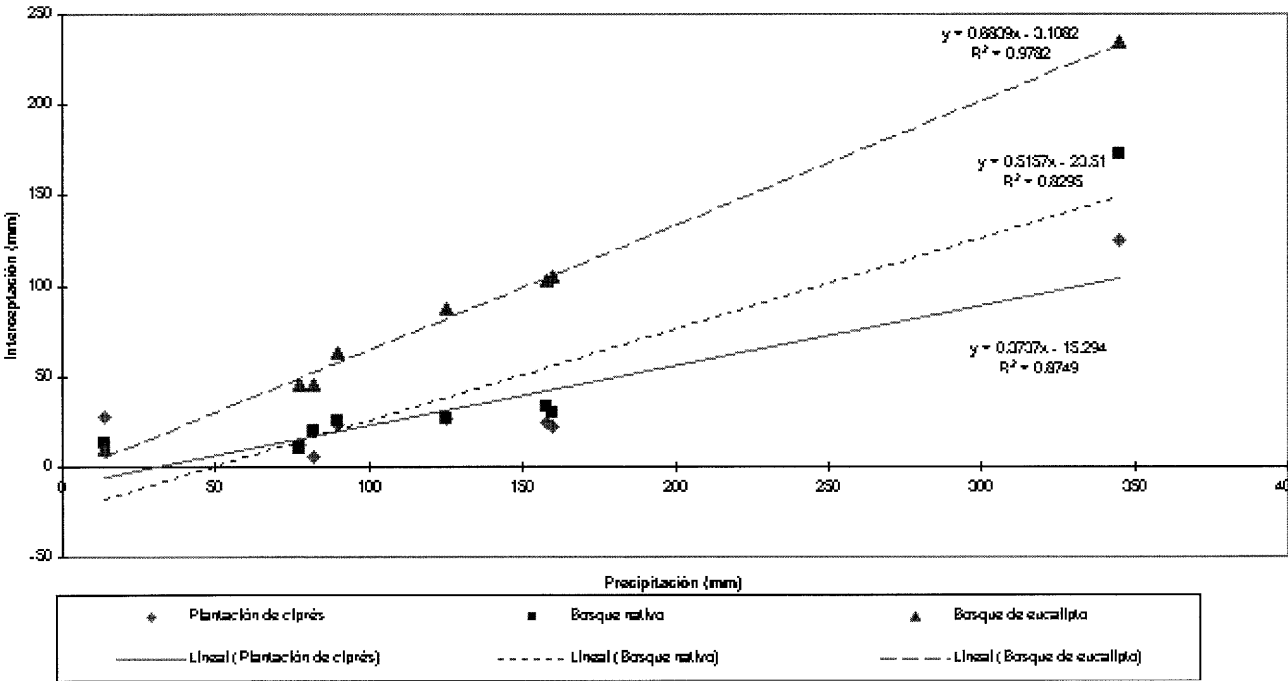


Figura 5
Curvas de regresión lineal para la relación precipitación (mm) - interceptación (mm) en tres tipos de coberturas vegetales de la cuenca del río San Cristóbal



Acequias de común y desarrollo sostenible: reflexiones desde la cuenta alta del Río Grande (Estados Unidos)

▮ **José A. Rivera**

Universidad of New México

▮ **Luis Pablo Martínez**

Conselleria de Cultura i Educació. Generalitat Valenciana

Los sistemas de regadío por acequia del Nuevo México son las instituciones más antiguas de los Estados Unidos en materia de gestión del agua. A lo largo de cuatrocientos años, las acequias han sostenido las economías agropecuarias de la cuenca alta del Río Grande, a la par que han protegido los recursos de los que dependen los restantes usuarios de la cuenca. La costumbre en la distribución del agua y el sistema de autogobierno de las comunidades de regantes suministran un marco válido para un uso sostenible de los recursos hidráulicos en el siglo XXI, en un tiempo de cambios y conflictos. La permanencia de las acequias nuevomexicanas depende, sin embargo, de la medida en que puedan superar los retos planteados por los mercados del agua emergentes en la región.

Orígenes del regadío en Nuevo México

La historia del regadío en Nuevo México hunde sus raíces en el pasado prehispánico del territorio. El regadío indígena (basado en el aprovechamiento de los ciclos naturales de inundación, y en la domesticación

de pequeños cursos de agua) era muy diferente, en cuanto a su extensión y articulación con la sociedad, respecto del regadío que importaron los colonizadores (basado en la derivación permanente de caudales de todos los cursos aprovechables, con independencia de su aforo). Así, los antropólogos norteamericanos distinguen entre los “sistemas de control de aguas” practicados por los indígenas de la “irrigación” propiamente dicha, introducida por los colonos hispanos. La sistemática transformación en regadíos de los fondos de valle por los españoles hizo de su cultura del agua la nota dominante en el regadío tradicional de Nuevo México, como prueban el vocabulario y las instituciones del regadío.

El factor indígena. Época prehispánica, 900 d. C.-1598 d. C.

La agricultura no se originó en las tierras del Río Grande superior con el asentamiento de los hispano-mexicanos que migraron a la provincia del Nuevo México desde la península Ibérica y el Valle Central de México. Al parecer, los primeros agricultores que

emplearon sistemas de control de aguas fueron los Anasazis, una cultura vinculada a los sitios arqueológicos de Mesa Verde (suroeste de Colorado) y Chaco (noroeste de Nuevo México), de la cual descenderían los indios Pueblo nuevomexicanos. Con anterioridad a la llegada de los conquistadores, las tribus Tewa, Tiwa y Keresan de la cultura Pueblo desarrollaron un variado complejo de estrategias agrícolas en los valles de la cuenca alta del Río Grande. Los estudios de campo señalan que los agricultores Pueblo invirtieron una gran cantidad de tiempo y energías en el desarrollo de una extensa (aunque de alcance limitado a nivel local) red de sistemas de control y captación de aguas. Practicaban, como ya hicieran los Anasazi, el riego por inundación natural y la desviación de aguas de inundación en torrentes mediante pequeñas paradas (equivalentes a las “boqueras” alicantinas). Pero también desarrollaron por primera vez el riego permanente por derivación fluvial, aunque limitado al aprovechamiento de arroyos y afluentes con pequeños caudales. Los propios conquistadores observaron y admiraron la complejidad de algunos de estos sistemas, que, al mismo tiempo, les resultaban tan familiares. El cronista Luján, que acompañó a Antonio de Espejo en su expedición de 1582-1583, escribió que *“encontramos muchos campos regados de maíz con acequias y presas, como si hubiesen sido contruidos por los españoles”*.

La aportación hispánica, 1598-1821

A diferencia de los indios Anasazi o Pueblo, los primeros granjeros europeos no limitaron sus asentamientos a áreas dependientes del aprovechamiento de las inundaciones naturales, o de la derivación de pequeños caudales. Los objetivos de la colonización española, y la concesión de extensas mercedes a las sucesivas oleadas de inmigrantes exigieron la utilización de cantidades mucho mayores de agua, y el establecimiento de sistemas permanentes de irrigación por derivación fluvial. Para la roturación y el cultivo siste-

mático de los fondos de valle, los colonos construyeron presas de derivación sobre todos los cursos existentes, pequeños y grandes, aunque la nota definitoria de su obra fue la domesticación y el aprovechamiento para el riego de los grandes ríos (Río Grande, Río Pecos, Río Chama).

Los colonos construyeron complejas infraestructuras para la captación, la conducción y la distribución del agua de ríos y arroyos: “tomas de agua” o “presas” de derivación, equivalentes a los “azudes” de la península Ibérica; “tanques” o “estanques”, equivalentes a las “balsas” o “albercas”; “compuertas”, equivalentes a los “partidores”; “acequias madre” y “sangrías”, equivalentes estas últimas a los “brazales”; “desagües”, equivalentes a los “escorredores” o “azarbes”; “canoas”, troncos vaciados utilizados como acueductos; etc. El agua circulante por los sistemas de regadío también permitió otros aprovechamientos, como su uso en la impulsión de molinos harineros (de rueda motriz horizontal, clara herencia de la cultura peninsular de la molienda).

La construcción de los sistemas de regadío era la primera expresión de la erección de las nuevas comunidades de pobladores; la primera obra pública, antes incluso que la Iglesia, fue la construcción de la presa y de la acequia madre. En este sentido, se puede considerar que la presa es el lugar de nacimiento de la comunidad. Los sistemas de regadío eran cruciales para el mantenimiento de las nuevas comunidades debido a la aridez del clima: entre 228 y 355 mm de lluvia anual, con acentuados ciclos de sequía. Sin el aporte artificial de agua a los campos, la práctica de una agricultura de estilo europeo resulta imposible. En cambio, gracias al regadío tradicional de origen hispano, todavía hoy se produce una amplísima y variada gama de productos, tales como alfalfa y pasto para ganado, manzanas, peras, melocotones, cerezas, ciruelas, albaricoques, nectarinas, trigo, chile, maíz, calabazas, guisantes, habas, lechugas, tomates, ajos, cebollas, melonas, espargos, y, más recientemente, alcachofas.

Los nuevos pobladores, venidos, a partir de 1598, de zonas de España depositarias de una rica y diversa cultura del agua de raíces árabes, como Andalucía, Extremadura, las dos Castillas, Aragón o Valencia, aplicaron sus conocimientos al desarrollo de los regadíos nuevomejicanos.

Todos los miembros de la comunidad de propietarios, beneficiarios de las mercedes de la corona, participaban en la construcción y el mantenimiento de los sistemas de regadío. Así, colaboraban en la “limpia” anual de la acequia (que tiene lugar en primavera, al comienzo del calendario agrícola en Nuevo México), y en la reparación de cualquier desperfecto, en especial de las presas.

Su participación era, además, proporcional a la extensión de tierras de regadío que cada uno tenía. Los propietarios/regantes del Nuevo México hispano seguían, pues, la regla casi universal que rige de los regímenes de propiedad comunal, según la cual cada uno ha de contribuir al mantenimiento del sistema común en proporción directa al beneficio que de él obtiene. Los regantes de estos sistemas, significativamente conocidos como “acequias de común”, acordaban sus propias “reglas” o “reglamentos” para la gestión de los caudales, elegían sus propios oficiales, y aplicaban su propia justicia en la resolución de conflictos por la distribución del agua. La rai-gambre hispánica de los antiguos “alcaldes de aguas”, actualmente conocidos como “mayordomos”, es clara, tanto como su entronque con los “acequeros” de la Valencia musulmana descritos por Thomas F. Glick.

Los siglos XIX y XX

El siglo XIX fue un siglo de grandes cambios políticos. En 1821, Nuevo México pasó a formar parte del México independiente. En 1848, Nuevo México fue anexionado por los Estados Unidos. Pero ello no supuso una amenaza para las acequias. De hecho, las primeras leyes aprobadas por la Asamblea Territorial de

Nuevo México en 1851 fueron las Leyes de Aguas, publicadas en español, que garantizaban la continuidad del “arreglo” tradicional de los riegos “tal como se hizo y permanece hasta hoy”.

Hasta 1907, las acequias de común mantuvieron su hegemonía en el control y el aprovechamiento de las aguas superficiales. Pero ese año, la Asamblea Territorial de Nuevo México aprobó un Código de Aguas que sustrajo la soberanía a las acequias, al declarar de dominio público las aguas superficiales. A partir de ese momento, el Territorio (Estado desde 1912) pasó a ostentar el control sobre la concesión de licencias de aprovechamiento de aguas.

Los gobiernos estatal y federal, además, comenzaron a intervenir en el reparto y la distribución de los caudales a través de agencias públicas que promovían actuaciones orientadas a un uso más eficiente de los mismos (el *U. S. Bureau of Reclamation*, dependiente del gobierno federal; los *Water Conservancy Districts*, dependientes del gobierno estatal). Así, entre 1928 y 1936, las 72 acequias que existían en el Valle Medio del Río Grande (aguas arriba y abajo de Albuquerque), la mayoría de las cuales poseía su propia presa, fueron reducidas por el *Middle Rio Grande Conservancy District* a depender de sólo tres grandes presas. El proyecto, que se justificó como medida para un mejor manejo de las aguas de riego y control de las inundaciones, atropelló los derechos históricos de las “acequias de común”.

De todas maneras, las “acequias de común” tradicionales, autogestionarias, se mantienen en funcionamiento fuera del Valle Medio del Río Grande. Pero en la actualidad se enfrentan a dos grandes amenazas: la urbanización del paisaje, y la presión ejercida sobre el agua, recurso limitado, por otros intereses diferentes de los del regadío tradicional (abastecimiento urbano, industria, turismo); fenómenos que han acelerado su impacto en las últimas décadas.

El crecimiento urbano de núcleos como Santa Fe, capital del Estado, o Albuquerque, la principal población del mismo, con unos 500.000 habitantes,

ha motivado la desaparición física de grandes extensiones de regadíos tradicionales. El valor de las tierras de regadío, que antaño constreñía la edificación a niveles situados por encima de las acequias madre de los sistemas, no puede competir en la actualidad con las plusvalías obtenidas por su reconversión a vivienda y otros usos urbanos. El patrón horizontal de crecimiento, típicamente estadounidense, basado en barrios de viviendas unifamiliares, agrava la situación.

En cuanto a la pugna por el agua, en las últimas décadas se ha disparado su demanda para el abastecimiento urbano, usos industriales y turísticos. El valor producido por el agua invertida en agricultura no puede competir con el generado por su destino a otros usos, como los arriba mencionados. En este contexto, las acequias de común son contempladas por los agentes en competencia como reservas estratégicas para la obtención de agua.

El marco legal favorece, además, la intromisión de agentes externos en las comunidades de regantes. La legislación vigente considera el agua como un bien que se puede comprar y vender, a la par que no reconoce los derechos colectivos de las comunidades de regantes, sino los de cada uno de los miembros que las componen. El tentador mercado del agua atrae a los regantes. Algunos de ellos venden su “parte proporcional” fuera de la comunidad (sin tener que obtener el consentimiento previo de la misma), provocando la desestabilización y el colapso de unos sistemas que se mantienen, como sabemos, por el principio de la cooperación solidaria de sus miembros.

A todo ello cabe añadir que las acequias, que en su inmensa mayoría continúan siendo meras zanjas de tierra, han sido víctimas del discurso ingenieril dominante, que acostumbra a tacharlas de “ineficientes” en el uso del agua, por sus pérdidas por filtración, sin considerar variables relevantes como su contribución a la recarga de los acuíferos o al mantenimiento de la biodiversidad.

El futuro de las comunidades de regantes de Nuevo México

Pese a la gravedad de la situación, todavía sobreviven alrededor de un millar de acequias de común. Y su resistencia no es pasiva. Los regantes se organizan, se movilizan y protestan. Para ello, las comunidades replican la estructura de las agencias estatales, y se confederan en “Asociaciones de acequia” a nivel de cuencas hidráulicas, lo que les permite negociar con aquellas en pie de igualdad. La organización culmina a nivel estatal en la *New Mexico Acequia Association* (NMAA) que convoca anualmente, desde 1988, un “Congreso del agua”, donde se reúnen las acequias del Estado para debatir sus asuntos.

Entre los propósitos de la NMAA y de las asociaciones a nivel de cuenca se encuentran la provisión de asistencia legal (abogados) y técnica (historiadores, sociólogos, antropólogos, y expertos en planificación territorial) a las acequias afiliadas para hacer frente a los procesos de adjudicación de aguas, la revisión de la legislación y de los derechos de aguas en vigor, la supervisión del gasto público en materia hidráulica, la obtención de subvenciones estatales y federales, y la participación en los procesos en marcha de planificación de cuencas hidráulicas.

Al amparo de su organización colectiva, los regantes emprenden campañas públicas en defensa de sus intereses, y para la promoción de sus productos. Caso de la campaña “manzanas, better than apples” con la que los productores de manzanas del valle de Española (comunidades de Velarde y Chimayó, en torno a la confluencia de los ríos Grande, Chama y Santa Cruz), promocionaron a nivel estatal a finales de los sesenta sus manzanas de regadío, producto de una agricultura orgánica alimentada por aguas cristalinas, frente a las manzanas producidas con métodos convencionales (abonos químicos, pesticidas, etc.) en el resto de los Estados Unidos.

Y todo se alimenta a nivel local con boletines informativos, folletos promocionales, juntas y reuniones

extraordinarias, la celebración de festivales (caso del *Acequia Harvest Festival*, que organiza anualmente la *Taos Valley Acequia Association*), y la organización regular de talleres de capacitación en muy diversas materias (*marketing*, legislación, agricultura orgánica, sistemas de riego, etc.). En definitiva, las comunidades de regantes de Nuevo México educan al público, y también a sus miembros, acerca de las potencialidades y de los valores de las acequias.

Junto a la acción colectiva y la educación en valores, o el desarrollo de nuevos cultivos de mayor valor añadido (como el trigo de producción orgánica), el reconocimiento de los valores ecológicos de las acequias constituye, en la actualidad, una de las principales bazas para su supervivencia futura.

Los biólogos expertos en Ecología están descubriendo que las acequias tradicionales constituyen extensiones de los ecosistemas de ribera que sostienen la biodiversidad local, garantizan la recarga de los acuíferos, el mantenimiento de la calidad de las aguas (debido a las continuas filtraciones), y la propia preservación de las valiosas tierras de cultivo.

Un Estatuto del Estado de Nuevo México de 1985 sobre el “Bienestar Público del Estado” prohíbe al Ingeniero del Estado (popularmente conocido como el “zar de las aguas”) la transferencia de derechos de agua de unos usos a otros, si la actuación resulta claramente “contraria a la conservación del agua o al bienestar público del Estado”. Aunque el concepto “bienestar público del Estado” no viene definido por la ley, las acequias han encontrado un asidero legal para oponerse a los proyectos contrarios a sus intereses.

Hasta la fecha, las acequias han protestado en numerosas ocasiones ante la oficina del Ingeniero del Estado, pero todavía no se ha definido un patrón claro de resolución de conflictos en favor de una u otra parte. Muchas de las solicitudes de transferencia de aguas han sido aceptadas por el Ingeniero, pero cabe señalar que, en algunos casos, la protesta oficial de las acequias ha motivado la retirada de las solicitudes, o la

negociación de acuerdos más respetuosos con los intereses de las acequias.

El futuro de las acequias reside, por tanto, en la medida en que sean capaces de mantener su cohesión y acción colectiva, y en el establecimiento de alianzas estratégicas con el movimiento ecologista, con las asociaciones de defensa del patrimonio histórico, con fundaciones y corporaciones privadas con clara conciencia social, la comunidad científica, la industria ecoturística, las mesas locales de planificación, o las propias tribus indias. Entre todos, deben tratar de forzar una ampliación de la definición del concepto “bienestar público” más allá de la pura eficiencia ingenieril o económica.

A modo de ejemplo, señalar que en 1999 la Comisión del Condado de Río Arriba impuso una moratoria de un año de la construcción de viviendas u otras edificaciones en suelos de uso agrícola, dándole así tiempo a la mesa de planificación del Condado para elaborar un censo de las tierras cultivables (en su práctica totalidad, tierras de regadío por acequias), y para poder escuchar la voz de los afectados; con la peculiaridad de que los oficiales del condado no se limitan a “conceder audiencia” a los interesados, sino que se desplazan a visitar todas y cada una de las cuencas, donde convocan reuniones con los vecinos. Únicamente después de haber recabado toda la información, según el procedimiento descrito, se procederá a aprobar una nueva ordenación de usos del territorio.

Conclusión

La cohesión de las comunidades de regantes, factor crítico para su supervivencia, tiene en su favor el factor cultural. El arraigo de los regantes hispanos en la tierra de sus antepasados les lleva a defender a ultranza sus aguas y sus acequias, columna vertebral de su paisaje. Su proverbial apego a la tierra ha sido retratado a la perfección en la novela de John Nichols *The Milagro Beanfield War*. Defendiendo su tierra, su agua y su paisaje, los “hispanos” de Nuevo México defien-

den su “país”, su tierra natal. Y con ello contribuyen a la defensa de la ecología, y a la disponibilidad de aguas y suelos de calidad para todos.

Bibliografía

“Acequia Laws, Laws of 1851-1852”, in *Revised Statutes and Laws of the Territory of New Mexico* (Studley 1865).

BAXTER, JOHN O., *Dividing New Mexico's Waters, 1700-1912* (Albuquerque, 1997).

BRIGGS, Charles L. and VAN NESS, John R., eds., *Land, Water and Culture: New Perspectives on Hispanic Land Grants* (Albuquerque, 1987).

CARLSON, Alvar W., *The Spanish-American Homeland: Four Centuries in New Mexico's Río Arriba* (Baltimore, 1990).

CORDELL, Linda S., *Prehistory of the Southwest* (Orlando, Florida, 1984).

DEBUYS, William, *Enchantment and Exploitation: The Life and Hard Times of a New Mexico Mountain Range* (Albuquerque, 1985).

GLICK, Thomas. F., *Irrigation and Society in Medieval Valencia* (Cambridge, Mass, 1970).

EBRIGHT, Malcolm, *Land Grants and Lawsuits in Northern New Mexico* (Albuquerque, 1994).

HAMMOND, George P. and REY, Agapito, eds., *The Rediscovery of New Mexico, 1580-1594* (Albuquerque, 1966).

MEYER, Michael C., *Water in the Hispanic Southwest: A Social and Legal History, 1550-1850* (Tucson, Az., 1984).

RIVERA, José A., *Acequia Culture: Water, Land, and Community in the Southwest* (Albuquerque, 1998).

TYLER, Daniel, *The Mythical Pueblo Rights Doctrine: Water Administration in Hispanic New Mexico* (El Paso, 1990).

El Azud de Alfeitamí (XVI) y la reducción del almarjal en el tramo sur del río Segura (Almoradí)

▀ *Gregorio Canales Martínez*
Remedios Muñoz Hernández

Las dificultades de avenamiento propias del río Segura derivadas de su escasa pendiente, curso meandriforme, cordón dunar litoral y la escasez de precipitaciones estivales propiciaron en el tramo final del colector un extenso aguazal, fruto de los desbordamientos periódicos del río, coincidiendo con los máximos pluviométricos de primavera y otoño.

En sus inicios estas tierras encharcadas fueron objeto de un aprovechamiento económico relacionado con la pesca, caza, recolección silvestre y pastizal, entre otros. Las poblaciones asentadas en sus inmediaciones, para ampliar la superficie cultivada y reducir un foco infeccioso permanente, alentaron proyectos de bonificación que conllevaban la evacuación de las aguas. La comunicación que se presenta parte de esta coyuntura en la que el almarjal cede su espacio a la ampliación del regadío.

En el siglo XVI las aldeas de Almoradí y La Daya emprendieron conjuntamente la ardua tarea de construir un azud estable en el cauce del Segura, al tiempo que organizan la red de riego-drenaje para hacer realidad la puesta en cultivo de terrenos saladares. La investigación aporta documentación sobre la consoli-

dación de esta presa, que tanta importancia tuvo para la ampliación de la huerta de Almoradí y zonas limítrofes.

Almoradí y Daya Nueva, núcleos destacados en la bonificación del almarjal

El entorno de Almoradí en el Bajo Segura no guarda relación con el que debió tener en épocas pasadas debido al intenso desarrollo de colonización agrícola. En los siglos VIII al XI el aspecto que ofrecía este espacio se caracterizaba por la existencia de un área marismeña, en el tramo final del río Segura, cerrada al mar por una restinga e integrada en un conjunto lagunar más amplio. Este extenso humedal hasta entrado el siglo XVIII estaba conectado con la antigua albufera de Elche que pervive hoy día en los humedales de Albufera, San Isidro y el Hondo de Crevillente-Elche (1). La escasa pendiente de la zona y los aportes del Segura justifican su precario avenamiento, que se encuentra dificultado por la existencia del cordón dunar litoral. En efecto, el nombre de Guardamar procede del topónimo árabe “wâdî al-

rimâl”, que significa río de las arenas. La desembocadura del Segura se caracteriza por la presencia de un importante conjunto de dunas, hecho geográfico excepcional en la costa levantina de la península y que llamó la atención de los autores árabes quienes aplicaron primero esa denominación al río y con posterioridad se transfirió a la población por los cristianos conquistadores de la zona (2).

El carácter pantanoso representó un factor hostil para el asentamiento de población. Ésta tuvo que emplazarse en las zonas elevadas que flanquean por el norte y el sur el valle aluvial del río en su parte oriental, como atestiguan los yacimientos ibéricos de La Escuera, El Molar y Cabezo Lucero, así como los poblados fenicios en el Cabezo Pequeño del Estaño y en la desembocadura del río en Guardamar (3).

El área pantanosa todavía se puede reconstruir al observar el mapa topográfico elaborado por el Instituto Geográfico y Catastral, en el que se detalla cómo la isohípsa de los diez metros sobre el nivel del mar dibuja una zona inundable de saladares y carrizales, en cuyo interior sólo se erguía, a modo de isla, la sierra de El Molar. La línea divisoria se inicia al Oeste del cabo de Santa Pola y se extiende en dirección a la población de Albatera, dejando en su interior las salinas de Santa Pola, el cono aluvial del río Vinalopó y los saladares de San Isidro y Crevillente. A la altura de los cabezos triásicos de Albatera-Granja de Rocamora tuerce hacia el Sur en dirección al río Segura y, al Oeste de Almoradí, cambia de rumbo para contornear un pequeño montículo donde se ubica esta localidad. A continuación descende casi de forma vertical hasta al Segura entre Almoradí y Daya Nueva y sigue hacia el Oeste por la mota del río. Por consiguiente, el emplazamiento de Almoradí aparece como un apéndice elevado que penetra hacia el interior del almarjal, cuyo perímetro dibuja una península que limita por el Sur con el cauce del Segura y por el Este, Norte y Noroeste con la zona de inundación. Martínez Paterna, con relación a Almoradí y lugares inmediatos, recoge todavía en 1632 como uno de los principales aprovechamientos era el

arroz, cultivo relacionado con los condicionantes físicos del territorio, si bien los cereales ya cubrían mayor superficie: *“tierras de pan y abundancia de legumbres con muchísimo arroz, son tierras que las riega el Río Segura y assi todas están en su Ribera y gozan de campo pasado el Río Segura”* (4).

Las investigaciones arqueológicas llevadas a cabo en la comarca han puesto de manifiesto que se trata de un área relativamente poco poblada en la Alta Edad Media (5). No obstante, se han documentado una serie de asentamientos humanos fechados entre los siglos VII al X, emplazados en las laderas de los montes que bordean el sector pantanoso. Los más próximos a Almoradí aparecen en la ribera meridional del gran marjal entre las poblaciones de Rojales y Guardamar, donde se sitúan, entre otros, el Cabezo del Molino, el Cabezo de la Cueva de la tía Maravillas, el Cabezo de las Tinajas, el Cabezo de Canales, el Cabezo Soler y la Rábita de Guardamar. Todos estos lugares se fueron abandonando entre los siglos X y XI debido a las transformaciones agrícolas efectuadas a costa del almarjal. La reducción del espacio lagunar permitió una nueva estrategia de poblamiento diferente a la anterior, al abandonarse los territorios elevados –de fácil defensa, libres de inundaciones y de infecciones palúdicas– para ocupar progresivamente el llano aluvial del Segura, a la vez que progresaba la colonización agrícola.

La ampliación del espacio cultivado mediante las técnicas del regadío dio lugar a una serie de aprovechamientos mixtos en la periferia del marjal. A la tradicional recolección realizada en los humedales de especies vegetales –junco, carrizo y barrilla– junto con la caza, la pesca, el marisqueo, la utilización de los pastos y la extracción de sal, hay que añadir el incipiente desarrollo agrícola que constituía un importante complemento en las economías de los grupos humanos asentados en la ribera. Este cambio de usos y la nueva percepción del espacio anfibio coincide con la implantación de un sistema agrícola, traído por la población alóctona, asentada tras la invasión musulmana, que se integraría en el seno de las antiguas comunidades de

origen indígena. Este es el caso de los *yândies* egipcios asentados en la Cora de Tudmir a mediados del siglo VIII, según descripción dada por el geógrafo árabe Al-Udrî, quien relata que el *yândî* Abd al-Yabbâr b. Nadîr recibió de Teodomiro, en razón del matrimonio con su hija, dos alquerías situadas en el Bajo Segura: la *qarya Tarsa*, a tres millas de Elche, y la *qarya Tall al-Jattâb*, a ocho de Orihuela (6).

La presencia de este colectivo es fundamental para entender el avance en la roturación agrícola, al ampliar el espacio colonizado desde la *Madina* de Orihuela y reducir las zonas encharcadas, que quedaron circunscritas a aquellos terrenos con difícil avenamiento, por su configuración edáfica y topográfica. Hay constancia de estos logros tanto en las fuentes documentales de los árabes como en los hallazgos arqueológicos de la comarca. Ambos ponen de manifiesto el trasvase de las técnicas agrícolas empleadas en la cuenca del Nilo a la del Segura, ríos que tienen una cierta afinidad en cuanto a estiajes y crecidas periódicas.

De Gea Calatayud recoge en sus estudios una serie de textos de geógrafos y autores árabes en los que se describe con detalle el desarrollo de la tecnología oriental y la aplicación en la vega del Segura. Este hecho es fundamental para comprender el proceso de colonización que se inició en Orihuela y que, de forma continua, progresó hacia la desembocadura del río. Con relación a este territorio, Al-Razi puntualiza que “*Toda su tierra riega el río, así como faze el río de Nilo en la tierra de promisión*”. Por su parte, Al-Udrî afirma que “*el territorio de Tudmir es famoso por la fecundidad de sus tierras y la exquisitez de sus frutos. Se estableció en ella el yund de Egipto (año 743). Su tierra está regada por un río de iguales propiedades que el Nilo de Egipto*”. Por último, Al-Maqqari especifica que “*La Cora de Tudmir se llama Misr (Egipto), por parecerse mucho a este país: su río le inunda en una época determinada del año, luego las aguas se alejan y se realiza la siembra como en Egipto*” (7).

Sonia Gutiérrez Lloret, por su parte, toma como referencia los restos arqueológicos para demostrar la

conexión entre el regadío del Bajo Segura y el practicado en el valle del Nilo. Para ello analiza las piezas cerámicas de los arcaduces, recipientes acoplados a las ruedas hidráulicas para la elevación de las aguas. Se trata de artefactos conocidos en la antigüedad clásica y que se introdujeron por primera vez en el Egipto romano a comienzos del siglo IV. El hallazgo de arcaduces pone de manifiesto la presencia de ingenios relacionados con la difusión del regadío desde mediados del siglo VIII. Gracias a estas maquinarias, accionadas manualmente o con tracción animal –de tiro o de sangre– fue posible la ampliación del espacio regado que coincidió, a su vez, con la llegada de nuevos aportes demográficos procedentes de las tierras del Nilo. De esta forma los arcaduces, ajenos a las tradiciones culturales preislámicas, se convierten en valiosos indicadores del proceso de aculturación de las poblaciones indígenas y son el exponente de una pronta islamización económica, social y cultural (8).

De todo lo anterior se desprende que la colonización musulmana implanta y desarrolla un sistema hidráulico novedoso en el llano aluvial del Segura. Hay autores que admiten la posibilidad de que el regadío se originara ya en época romana (9), si bien otros investigadores, al evaluar tanto cuestiones sociales como técnicas, afirman que la colonización romana de la zona fue muy débil y se decantó por una agricultura de secano sin clara potenciación del regadío fluvial. Las poblaciones tardorromanas y visigóticas ubicadas en las laderas que flanquean el llano de inundación del Segura utilizaron un sistema de regadío aprovechando las aguas esporádicas o de avenidas de las ramblas. Se corresponde con el típico riego de boquera o escorrentía, de origen prerromano, tan característico de los piedemontes con captaciones de aguas adaptado a las condiciones climáticas y a los rasgos naturales del paisaje semiárido (10). El inicio del regadío en época musulmana se encuentra avalado por una serie de hechos entre los que cabe citar: la envergadura del sistema de riego, que requiere la presencia de especialistas con avanzados conocimientos en tecnología hidráulica de

carácter nilótico (norias, ruedas y otros aparatos elevadores de agua); la terminología del sistema de riego está constituida por vocablos que derivan del árabe (azud, acequia, azarbe, tahúlla, tarquín, arbellón); las instituciones que se encargan de la gestión del agua también proceden de palabras islámicas (el sobreceguero se corresponde con el oficial municipal andalusí llamado *sahib al-saqiya* –señor de la acequia–) (11).

El estudio del regadío de la Vega Baja comparado con el de Lorca evidencia una situación muy diferente, por cuanto la toponimia de las acequias remonta su origen a tiempos prerromanos y romanos. Por otro lado, el sistema de subasta del agua existente en la actualidad muestra una forma de distribución de claros precedentes visigótico-romanos, al estar separada la propiedad de la tierra del derecho del agua, aspecto contrario a los preceptos islámicos; mientras que en la huerta de Orihuela existe un reparto proporcional entre caudales y superficie agrícola (12). Además, todo el espacio agrario de la vega lorquina estaba salpicado de “uillae” o casas de campo, que refuerzan la importante presencia romana en este territorio (13).

En el catálogo de presas y azudes recopilado por Fernández Ordóñez se consideran árabes los regadíos del Segura, al igual que los del Turia, Júcar y Mijares, todos del siglo X (14). Roca de Togores, en la Memoria sobre los riegos en la huerta de Orihuela, señala que en el segundo reparto de tierras efectuado en 1268, Alfonso X el Sabio mandaba a los vecinos “limpiar y adobar los azarbes y todas las acequias mayores y menores del término de Orihuela, de guisa que vengan las aguas sin embargo ninguno, así como venían en tiempo de moros. Y que partan las aguas por tahúllas a cada uno según lo que hubiere, así como las habían derechamente en tiempo de moros. Y aquellos que esto no quisieren hacer, mandámosles, de parte del Rey, que les tomen las heredades, y que las den a hombres que hagan vecindad y aquellos derechos que ellos habían de cumplir. Y si algunos forzaren las aguas a los acequeros, que les recabden los cuerpos y todo cuanto que hubieren para ante el Rey” (15). Unos años

después el citado monarca, el 14 de mayo de 1275, dio el primer reglamento para el gobierno de las aguas y riegos de la huerta de Orihuela. En él disponía se ampliara la extensión del regadío con relación al que existía en la ocupación musulmana “*e si mas pudiesen*” (16).

Almoradí es un vocablo de origen árabe y, según se desprende de las investigaciones llevadas a cabo por los especialistas del mundo islámico, parece identificarse con el término *al-Muwalladin*; si bien para unos autores el topónimo hace referencia a una demarcación territorial amplia, para otros se trataría de un lugar ocupado por personas que aceptaron la religión islámica. Como señala Emilio Molina, la raíz “w-l-d”, además de la acepción de nacer, representa también la de *ser nuevo en alguna cosa*, es decir, *convertirse* a algo. En este caso, se trata de un participio que significa *los conversos*, llamados también *muladíes* (17). Vilar identifica a los muladíes con hombres libres que antes habían sido población esclava, ahora manumitida, por su conversión al Islam (18). Este asentamiento humano ya debía estar conformado, al menos en el siglo XI, ya que el geógrafo árabe Al-Udri, en la descripción que realiza de la Cora de Tudmir, señala la existencia de este paraje, identificado con una *nahiya* –vocablo referido a una partida agrícola– territorio de gran valor al estar dotado de regadío. En efecto, Al-Udri refiere que “*los habitantes de la ciudad de Orihuela abren una acequia en este río, acequia que arranca de sus tierras hasta llegar al paraje denominado Al-Qatru-llat. La longitud y extensión de esta acequia es de 28 millas. Su cauce concluye al sur de este paraje en la nahiya llamada de Al-Muwalladin, en dirección a la alquería conocida por al-Yuzayra. De allí el río se dirige hacia el mar, siendo conocido aquel lugar con el nombre de al-Mudawwir*” (19).

La estructura del poblamiento musulmán se caracterizaba por la presencia de centros urbanos (*madina*) y entidades de población rural con diferente rango, entre las que cabe citar alquerías, rahales y castillos. En la zonas de regadío abundaban las pequeñas agrupa-

ciones de casas o alquerías (qarya) que, según Guichard, formaban unidades en las que vivían algunas decenas de familias campesinas, al parecer de condición libre y dueñas de las tierras que cultivaban. Otro elemento importante del paisaje rural correspondía a los *rahales* que constituían propiedades privadas, de cierta importancia, en poder de la aristocracia o de las clases acomodadas. El último elemento estructurador de la sociedad campesina estaba formado por la red de castillos (*husun*) (20). Estas categorías de población se mantendrían después de la derrota musulmana, si bien sufrirían algunas modificaciones.

Tras la conquista cristiana y ya en los albores del siglo XIII se introduce una nueva modalidad colonizadora, mediante la distribución y asignación de tierras a nuevos y antiguos pobladores. Esta queda recogida en el *Libre del Repartiment... de Oriola*, donde se especifica en seis particiones la entrega de tierras de este término. En ellas se contabiliza todo lo repartido, con expresión de los beneficiarios, fincas adjudicadas e, incluso, los méritos que justificaban el lote cedido a cada uno. Los encargados de efectuar las divisiones eran los “partidores”, cuya labor era sancionada por el monarca (21).

Almoradí en la primera partición del *Repartiment* (1243-1266) aparece como una alquería situada en la ribera derecha del río Segura, donada por Jaime I, juntamente con La Daya, a Fernán Pérez de Guzmán, adelantado mayor del Reino de Murcia (22). Se trataba, como ha puesto de manifiesto Torres Fontes, de una distribución de bienes de características señoriales, efectuada por el monarca aragonés al objeto de enraizar una élite militar en el territorio que garantizase la seguridad de los avecindados y dispuesta al servicio real. Martínez Paterna, en la descripción de la Gobernación de Orihuela realizada en 1632, señala que Almoradí “o *Almoradín*, población que se fundó por los Árabes cuando ganaron á España en la pérdida de D. Rodrigo, último Rey Godo. Era antes un fuerte Alcázar, con torres, murallas y grandes fosos. Cuando ganó el Rey D. Alonso la vega de Orihuela dejó veci-

nos y moradores. En estos tiempos se hizo Población, no muy grande, y como no tuviese puente para pasar al campo por el río. Se valían de Barcas, porque antes que hiciesen los Azudes que oy tienen sobre este Rio Segura, se entran en barcas por el Rio por el mar... Vino a ser Almoradin de la corona Real en tiempos del Rey D. Pedro de Aragón hijo que fue del Rey D. Jaime porque un D. Fernando de Guzmán no le fue muy fiel al Rey D. Pedro de Aragón, dejándose llevar del Rey D. Pedro el Cruel de Castilla, valiéndole en el asalto que dio a Orihuela” (23).

Con posterioridad Almoradí y La Daya, tras revertir de nuevo a la corona, corrieron suertes diferentes en virtud de las distribuciones de tierra realizadas en la segunda partición. La cuadrilla de Almoradí quedó incorporada al extenso realengo oriolano, al entregarse muy fragmentada a un gran número de vecinos. Este hecho se traducía en la falta de autoridad sobre su territorio, dado que jurisdiccionalmente dependía de Orihuela a la que estaba adscrita como lugar, si bien las funciones de gobierno las asumía la comunidad como delegados del justicia de aquella. Por el contrario, La Daya es un exponente del proceso de señorialización que afectó al amplio alfoz oriolano. Los particulares que recibieron propiedades, a raíz del fuero concedido por Alfonso II en 1329, disfrutaban de la jurisdicción menor sobre su demarcación y vecindario, siempre subordinada a la superior que detentaba Orihuela, salvo aquellos titulares de baronías que obtuvieron la jurisdicción suprema *gubernatorio nomine*. Este fue el caso de La Daya, cuyo titular en 1334 obtuvo la concesión de “*merum et mixtum imperium et omnem jurisdictionem civilem et criminalem in loco suo de la Daya*” a Gonzalo García (24).

El extenso predio de Almoradí, constituido por unas cuatro mil quinientas tahúllas de riego, tras el fracaso del primer reparto, fue entregado en 1268 en la segunda partición a doscientos pobladores asentados por Alfonso X El Sabio. El monarca castellano mantuvo un criterio de repoblación distinto al efectuado por Jaime I, pues prefirió sustituir los latifundios genero-

samente cedidos anteriormente por una propiedad más fragmentada, con lo que beneficiaba a un mayor número de personas y conseguía arraigar con más fuerza la repoblación. Este sistema desarrollado por el monarca llevó consigo, de una parte, asentar un buen número de pequeños y medianos propietarios, afianzando la autoridad real frente a los grandes señoríos; y de otra, limó las asperezas con la población morisca que veía con malos ojos un régimen de ocupación militar.

El reparto de tierras se caracterizó por la gran diversidad del tamaño de los lotes asignados. Estos quedaron comprendidos entre 10 y 60 tahúllas, si bien se trata de concesiones bastante igualitarias, por cuanto los beneficiados con 20 y 30 tahúllas agrupan a la inmensa mayoría de los habitantes asentados (25). Conviene señalar que dicha partición es la más importante de todas las realizadas en el área de Almoradí, ya que se distribuyeron casi la totalidad de las tierras útiles. En las donaciones posteriores se entregaron las que habían quedado vacantes o habían sido abandonadas por sus propietarios. Además, se adjudicaron algunas tierras procedentes de alquerías y rahales que por sus características de terrenos palustres no se contemplaron con anterioridad. Así, en 1288, al practicarse la quinta división se asignaron superficies de ínfima calidad formadas fundamentalmente por humedales y saladares, como textualmente se indica en el *Repartiment*: “*partir la terra que non fora dada ni partida en las otras particiones e fíncara e llas fronteras de los argamales et de los saladares. Fue fíncada por mala terra que negun la quiso tomar en otras particiones et auya y dellas muchia que en el tempo de los moros nonqua foron sogueadas*” (26). En total se adjudicaron 204 tahúllas ubicadas en los caminos de Guardamar y Catral, que favorecieron a 13 pobladores (27). Años después, en 1311, la última partición se realizó exclusivamente en terrenos salinos, colindantes con La Daya, que aportó alrededor de 345 tahúllas y benefició a 13 vecinos (28).

La heredad de La Daya fue transferida por Jaime II, el 27 de abril de 1296, a su consejero Guillem Dufort

quien obtuvo las propiedades que “*se hallan en la villa y términos de Almoradí, y en el término de Orihuela, con todos sus términos, hiermos, poblados, huertas, y secanos con hombres y mugeres que al presente habitan así christianos como sarracenos: con sus alquerías, torres, casas, campos, viñas, y huertos, molinos, hornos, y con todos los demás drechos pertenecientes a dicho lugar de La Daya y a la referida heredad, según lo tenía dicho Guzman a quien se lo quitó dicho Rey por su poca fidelidad*” (29). El señorío perteneció luego a Gonzalo García, quien consiguió la jurisdicción baronal, y su hijo Pedro Maza, señor de Mojente, la vendió en 1353 a Jaime Masquefa por 50.500 libras (30), cuyos descendientes la poseyeron durante tres siglos.

La enajenación de La Daya significó para Almoradí perder parte del territorio pantanoso que lo circundaba. Conviene señalar que aquel topónimo es para Coromines (31) de origen árabe y alude a una aldea o villorrio, acepción que también es compartida por Barceló Torres (32). Sin embargo, Gutiérrez Lloret apunta que el término está en relación con el espacio circundante, aplicándole el significado de laguna o charca (33). Por último, Guichard también lo identifica con aldea aunque puntualizando que, con la conquista cristiana, se produce un cambio semántico entre los conceptos *qarya* (alquería) y *day'a* (aldea); el primero, pasa a denotar una granja aislada o una casa de campo cuando en el mundo islámico era un poblado; mientras que el segundo, en las lenguas romances equivale a una población estable, pero en la cultura andalusí se correspondía a una importante finca de propiedad privada en manos de la aristocracia (34).

Lo anteriormente expuesto se manifiesta en la evolución posterior que experimentan ambas poblaciones después de la Reconquista. Almoradí, como ya se ha señalado, conformaba un espacio en el que vivían reductos de población indígena -muladíes- que se refugiaron con la invasión musulmana en tierras de ínfima calidad y poco codiciadas por los árabes por su proximidad al almarjal. Por el contrario, La Daya, tras la

separación de Almoradí, conservó su *status* de hacienda independiente, con jurisdicción *gubernatorio nomine*. Este territorio fue objeto de diversas ventas hasta que, a mediados del siglo XIV, pasó a manos de la familia Masquefa. La heredad lindaba por el sur y el este, con Guardamar; por el norte, con la albufera de Elche y, por el oeste, con Catral y Almoradí.

Antes de que terminara esa centuria está documentado el aprovechamiento de pesca que se practicaba en la albufera existente en La Daya, así como una serie de pleitos y concordias convenidas entre el titular de la baronía y los municipios limítrofes de Elche y Guardamar. Estas disputas fueron el resultado de la colocación de encañizadas que obstaculizaban el fluir de las aguas y mermaban la actividad pesquera, lo que reportaba importantes ingresos y hacía necesario el control de la marisma. Siglos después la ampliación del regadío llevaría consigo una reducción considerable del marjal, coincidiendo con unos planteamientos económicos contrarios al mantenimiento de los terrenos encharcados. Hacia 1411 el lugar de La Daya estaba formado por una casona fortificada, residencia del señor, una aldea cristiana y una aljama mudéjar (35).

Infraestructura y organización del regadío

La segregación de Almoradí del dilatado término de Orihuela y su constitución en municipio independiente responde al desarrollo económico que este lugar adquirió, desde mediado el siglo XVI, en relación con la pujanza agrícola y la ampliación del espacio regado en las inmediaciones del casco urbano. El regadío de Almoradí está ya documentado en el *Libre dels Repartiments dels terres entre vehins de la molt noble y leal e insigne ciutat de Oriola* realizado después de la conquista cristiana. En él se cita expresamente la acequia mayor de Alquibla que tiene su origen en el azud de Las Norias, primera presa de riego existente en el Segura para el regadío de la Vega Baja.

Hay constancia de que, a finales del siglo XIV, la toma de agua era independiente de la acequia de Moli-

na y existía, junto a ambos azudes, dos torres para la defensa de dicha infraestructura hidráulica (36). La fortificación estaba compuesta por dos grandes ballesas, una de torno y otra de trueno, que fueron compradas por el Concejo de Orihuela a Pedro Daza con objeto de disuadir las frecuentes irrupciones procedentes del Reino de Murcia. Estas incursiones eran avisadas a los labradores de la zona por medio de humaredas que se visualizaban en un amplio entorno, al objeto de no hallarles desprevenidos. Con el paso del tiempo, se destruyó la presa y se convino en realizar un nuevo azud que sirviera para las dos acequias que nacían en el lugar.

La actual parada data de la primera mitad del siglo XIX y en ella la acequia Alquibla es la primera que arranca de dicha presa. Su boquera tiene “*de alto 5 palmos, con 7 dedos, y de ancho 6 palmos, 3 dedos; estrae del Segura 83 hilas de agua para regar 10.113 tahúllas, con tanda intermedia de 24 días*”, que se distribuyen de forma desigual por los municipios de Orihuela (5.938,5 th), Bigastro (1.247,5 th), Jacarilla (916 th), Benejúzar (439 th), Algorfa (508 th), Almoradí (849 th) y Rojales (215 th). De la relación anterior se desprende que la demarcación de Almoradí ocupa el cuarto lugar en la superficie regada, no siendo ésta la única fuente de abastecimiento para su regadío. De los datos que recoge Juan Roca de Togores y Albuquerque en 1832 se desprende la prolongación de dicho cauce de riego, pues a los dos primitivos heredamientos -las nombradas comunas de los Palmos y las Cuadrillas- se incorporaría otro formado por fincas radicadas en Almoradí y Rojales: “*uno se llama de los Palmos, que comprende 3.146 th. en las diez paradas primeras y los tres brazales que le siguen; al otro nombran de las Cuadrillas, compuesto de 6.967 tahúllas, que riegan 28 paradas hasta concluir en el término de Algorfa, en cuyo punto acababa antiguamente la acequia, como así lo indica el gallardo o desagüe al río que existe próximo al puente de Almoradí; pero con posterioridad se ha prolongado su riego a las tres haciendas siguientes, de las Bóvedas y dos Julianas o Torre de*

Fels que forman una tercera comuna, a la que es peculiar el coste de mondas de la misma, sin perjuicio de contribuir al pago de la total de la acequia: el repartimiento vigente de aguas se formó en el año 1763” (37).

También está documentado en época medieval el cauce de riego conocido con el nombre de Acequia Vieja de Almoradí, que tiene su inicio en el azud de Almoradí, ubicado en el interior de la población de Orihuela. Se trataba en un principio de una pequeña parada, poco estable y sujeta a frecuentes roturas por las avenidas del Segura, que a finales del siglo XIV se construyó de piedra. En efecto, en 1386 por concordia entre los regantes de dicha acequia y Jaime Masquefa, dueño del molino harinero existente en el río, asumió este último la realización de una presa de nueva construcción (*obra sólida*), lo que al parecer sucedió en 1430, una vez vencidos los obstáculos que a la obra interpuso el heredamiento de la acequia de Callosa (38).

La Acequia Vieja de Almoradí, según la descripción realizada por Juan Roca de Togores, consta de “2 boqueras, que separa un pilar, cuyo ancho es de 3 palmos y 11 dedos; la solera tiene de largo 15 palmos; la toma de la parte del Norte á su ingreso 7 palmos de elevación, con 5 de anchura, y la del mediodía 7 palmos, 5 dedos de alto, con 5 palmos y 6 $\frac{1}{2}$ dedos de ancho; saca del río 110 $\frac{1}{4}$ hilas de agua para el riego de 17.296 tahúllas, con tanda intermedia de veinte y cinco días, por 52 paradas”. La distribución de aguas de dicho cauce se hizo en 1624 y la superficie regada se repartió de forma desigual entre los municipios de Orihuela (13.776 $\frac{3}{4}$ th), Benejúzar (1.422 $\frac{3}{4}$ th), Rafal (939 th) y Almoradí, donde beneficia a 1.157,5 tahúllas y concluye en dicho término al río, en la hacienda denominada la Capilla (39).

Estos dos cauces citados conducen las aguas derivadas del Segura y representan la primera infraestructura de riego para Almoradí. La organización del regadío en el Bajo Segura ofrece como peculiaridad la dual circulación de caudales que se establece en la huerta, a

base de aguas vivas procedentes del río, y aguas muertas, o de drenaje. Los canales que conducen el agua desde la toma del río -presa, parada o azud- constituyen las acequias mayores, que recorren las tierras a regar y se ramifican en acequias menores, después en brazales, más tarde en hilas y, por último, en regaderas que vierten el agua a bancales y parcelas. La red de aguas muertas recolectan los sobrantes escurridos tras el riego por medio de zanjias o canales excavados que componen también una red jerarquizada. Los canales individuales, que se denominan escorredores, abocan en azarbetas y, a través de ellos, las aguas pasan a los colectores principales, llamados azarbes, que evacuan su caudal al Segura o a los sectores pantanosos de Elche o Santa Pola.

Esa compleja distribución de riego se complementa a su vez con la no menos enmarañada red de avenamiento. Con ella se evita el encharcamiento del terreno, al encontrarse en el subsuelo una capa impermeable, próxima a la superficie, que impide la filtración y favorece el anegamiento del terreno de no existir este doble sistema de circulación. Roca de Togores, en su *Memoria sobre los Riegos de la huerta de Orihuela*, expresa esta circunstancia de la siguiente forma: “la situación baja del suelo de la huerta de Orihuela, unida a la circunstancia de hallarse éste sobre un banco de tierra arcillosa, sumamente compacta, que impide la filtración interior de los riegos de la misma, ha obligado desde los tiempos más remotos a abrir en toda su extensión multitud de cortaduras y canales que, dirigiéndose con más profundidad que los cauces de las acequias, puedan recibir los sobrantes de ellas con las espurgaciones, amarguras y salobres de las tierras que arrastran las aguas de los riegos, impidiendo por dicho medio que el terreno se convierta en marjales y saladares” (40).

El abastecimiento de riegos en la huerta de Almoradí se incrementa con la reutilización que se hace de las aguas de avenamiento, pues uno de los cauces de drenaje, el denominado azarbe de Millanares, recoge las escorrentías en un amplio terreno, de algo más de

nueve mil tahúllas, que riegan las acequias de Escorrell, Callosa y Vieja de Almoradí. Este azarbe, en el lugar denominado Hoyo de la Capitana, pierde su nombre por el de acueducto del Mudamiento, y se transforma en cauce de aguas vivas para regar 4.865 tahúllas; de ellas 1.038 en Almoradí. La tanda está fijada cada nueve días y se abastece de las filtraciones que dimanen de la red de riego de los azudes de Almoradí y Callosa-Catral, cuya distribución de caudales se formó en el año 1762 (41). Dicho canal avena en el azarbe de Abanilla, cercano al paraje denominado Puente de las Tablas, y se aprovecha de nuevo como aguas vivas para el riego de los terrenos más bajos –las Pías Fundaciones– saneados por el Cardenal Belluga en el siglo XVIII.

La exhaustiva utilización del agua requiere un rígido control entre los usuarios para evitar los conflictos que puedan surgir por el uso del agua, así como para mantener unas infraestructuras de riego creadas con tanto esfuerzo. Hay que tener presente que un descuido y la no realización de las limpiezas o mondas podría originar un obstáculo en la correcta distribución de los caudales de riego, lo que conllevaría el restablecimiento del almarjal y la aparición del antiguo espacio marismeño. La reutilización de las aguas en el proceso de colonización agraria supuso la continua degradación de la calidad del riego, circunstancia que originó una disminución de los rendimientos agrícolas, patente en algunos cauces de la red de riego.

El Azud de Alfeitamí y la ampliación del regadío

La infraestructura de regadío creada por las acequias de Alquibla y Vieja de Almoradí, así como por el acueducto del Mudamiento, sólo cubrían una mínima porción de las tierras de Almoradí. La restante superficie agrícola permaneció con aprovechamientos de secano y los que proporcionaban los terrenos pantanosos hasta la construcción del Azud de Alfeitamí. En efecto, entre Almoradí y La Daya mediaba un espacio de marisma que fue objeto de bonificación a lo largo

de toda la Edad Media. Al comienzo del siglo XV está documentado un convenio de reparto de aguas entre ambos términos, fechado el 4 de abril de 1400, y que ponía fin a los enfrentamientos existentes entre los regantes de estas comunidades. El acuerdo fue sancionado ante el sobrecequero de Orihuela, como juez de aguas, por Miguel Muñoz, en calidad de síndico del regadío de Almoradí, y por Jaime Masquefa, señor de La Daya, junto con el síndico de dicho lugar. Su contenido especifica la existencia de una acequia que beneficiaba a Almoradí y a La Daya, cuyas aguas se repartían tres días consecutivos a la semana cada territorio; así como la petición de obras de mejora correspondientes a la construcción de sendas paradas, a lo que el sobrecequero decretó la realización de “*un sólo trestallador, para evitar gastos en la conservación de los dos que pedían*”. Éste se ejecutó en el lugar de La Daya y su importe, así como las mondas, serían costeadas en lo sucesivo conjuntamente por los regantes de ambas poblaciones (42).

La realización de una toma común originaría en el futuro nuevas disputas por el reparto del agua. Estas ya se ponen en evidencia unos años después cuando, el 11 de septiembre de 1420, el señor de La Daya, mosén Jaime Masquefa, presentó en el juzgado de aguas de Orihuela, ante el sobrecequero de dicha ciudad, un escrito de protesta. En el señalaba que, según el acuerdo de 6 de marzo de 1370, el agua entre las dos poblaciones se repartía de forma igualitaria cada semana, correspondiendo a cada lugar “*tres días y tres noches*”. Alegaba que los moradores de Almoradí no cumplían el anterior precepto, circunstancia negada por los vecinos de esta localidad. En consecuencia, para hacer más firme la concordia suscrita en su día, volvieron a ratificarla en los siguientes términos: “*que si cumplida la tanda de Almoradí, el último regante en el mismo punto no diera paso a la agua, de forma que pudiese hir libremente al termino de La Daya; aquel, o aquellos que para dicho efecto huviesen puesto el impedimento en filas, en arrobas, o en otra cualquier manera, fuese, o fuese incursos en la pena de*

diez libras por cada vez, los cuales fuessen divididos en la forma siguiente: siete libras para el acusador; y tres libras para el sobresequiero de Almoradí. Para evitar lo qual pudiesse el sequiero de La Daya reconocer el agua, y la acequia, durante su tanda en los partidores de Almoradí con facultad de deshazer qualquiera parada que hallase, y cerrar qualquiera arroba o fila que encontrase abierta. Y lo mismo pudiesse practicar el sequiero de Almoradí, durante su tanda, contra los vecinos de La Daya. Y si estos huvieren contravenido en lo referido, ser penados en diez libras por cada vez partidores según se ha dicho, dando siete libras al acusador y tres al sequiero de La Daya”.

No conforme con la pena impuesta a los infractores el convenio incrementaba la cuantía, si ésta se ejercía por la fuerza, *“que si encontrado el fraude por qualquiera de las partes, el sujeto delincente intentase el huso del agua por violencia incurriese por cada vez en la pena de sesenta libras, de las quales el acusador tuviese la tercera parte y sobresequiero las dos partes”.* En virtud de estos antecedentes, Pedro Miró, sobresequiero de Orihuela en 1420, y ante el problema suscitado por la distribución del agua entre ambas poblaciones sentenció el siguiente reparto *“que Almoradí y sus vecinos la tomasen el domingo al ponerse el sol, hasta el jueves al salir el sol. Y que La Daya y sus moradores la tomasen el jueves al salir el sol, hasta el domingo puesto el sol”.* El dictamen fue recurrido por los vecinos de Almoradí al considerarse perjudicados, pero unos días después, el 25 de septiembre, de nuevo fue confirmada por el juez de aguas de Orihuela (43).

Este compromiso paralizó momentáneamente los enfrentamientos, aunque continuaron en las décadas siguientes debido a que ambos núcleos se encontraban inmersos en un arduo proceso de ampliación del regadío y consiguiente retroceso del almarjal. Circunstancia que culminó en la segunda mitad del XVI con la construcción del Azud de Alfeitamí, obra hidráulica levantada en el cauce del Segura, que permitió erradicar una extensa zona pantanosa en las inmediaciones de Almoradí y Daya Nueva. El antecedente de esta

presa estuvo en una palizada, existente ya en el río, realizada con estacas de madera y tierra, para dirigir la corriente al molino harinero que le dio el nombre. Posteriormente, en 1571, se sentaron las bases para realizar el referido dique de obra sólida, concluyendo el mismo en 1615 (44).

En efecto, el 30 de agosto de 1571, ante el escribano de Orihuela Luis Agullana se firmaba la escritura de concordia entre Francisco Boil y Masquefa, señor de La Daya, Luis Carbonell, síndico procurador general de Almoradí, y Francés Galicant, dueño del indicado molino harinero. Los interesados convinieron que, aguas arriba de la toma abastecedora del molino, se abriesen dos acequias para el riego de las huertas de Almoradí, Daya Nueva y otras poblaciones limítrofes. El convenio entre las partes se ajustó a los capítulos siguientes (45):

a) El propietario del molino cedía al titular de La Daya y al representante de Almoradí el espacio necesario para poder acceder al azud y realizar en él una obra de consistencia; así como poder abrir en sus tierras las mencionadas acequias y caminos de servicio: *“las entradas y salidas en las tierras que aquel poseía junto al azud, y molino de Alfaytani á la parte otra del río para que siempre que nesessitasen, pudiesen hazer camino para llevar los pertrechos para manobra de dicho azud y assequia, para mondarle, y para qualquiera otro fin”.*

b) Igualmente, para realizar la obra de ingeniería hidráulica, el mencionado Francés Galicant se comprometía a donar gratuitamente la tierra necesaria y la piedra que existía junto al molino, a cambio de que esta última le fuera devuelta cuando él lo reclamara: *“ofrecía para dicha obra, y assequia dar franca toda la tierra que fuesse menester, sin que en tiempo alguno la parte otra deviesse pagarla. Otrosí: que el mismo Galicant daría toda la piedra que tenía junto á dicho azud, baxo la condición que la parte otra se la deviesse reemplazar igual, y en el mismo lugar quando la necesitase”.*

c) Asimismo, el dueño del molino cedía a perpetui-

dad el Azud de Alfeitamí con todos los derechos y obligaciones que del mismo pudieran derivarse: *“El mismo Galicant aría de presente a la parte otra, y a sus sucesores donación para e yrrevocable del azud, y sitio llamado de Alfaytani, que tenía en el río Segura para que los mismos, y sus sucesores le pudiesen levantar, obrar, respallar, y cargarle tanto quanto les pareciesse, y usar de él como de cosa suya propia y serrarle, la qual donación haría con todos sus derechos”*.

d) Los delegados de Almoradí y La Daya se comprometieron, ante las cesiones que hacía el señor Galicant, a financiar la obra sólida del nuevo azud: *“los dichos señor de La Daya, y síndico de Almoradi se obligavan a construir a sus costas una pared de tres palmos de ancharia con la elevación que fuesse menester para asegurar la casa, y molino de dicho Galicant”*.

e) La realización de la presa llevó consigo modificaciones en el abastecimiento de agua al molino, por lo que el dueño se comprometió a ejecutar las reformas precisas, con la condición de no mermar los caudales de agua a los nuevos regantes: *“Que el dicho Galicant, y sus sucesores se obligavan á serrar dos de los tres canales que el molino tenía, siempre que el término de Almoradí, y La Daya tuviessen nessesidad de agua para sembrar o sacar de polvo las tierras, y esto por solo el tiempo de treinta días, y siendo requerido por uno de los lugares de Almoradí, ó La Daya. Que dicho Galicant se obligava levantar el pavimento de los canales de dicho molino a igual del de la assequia, dexandolo á igual anivelado, con tal que pudiesse lograr bastante agua las tierras de Almoradí, y La Daya para que sus tierras produxessen los frutos, a conocimiento de personas expertas: pues de otra manera se obligava dicho Galicant, y sus sucesores levantarle un palmo, o dos a conocimiento de expertos”*.

f) Los promotores de Almoradí y La Daya pactaron que correrían con las reparaciones producidas por avenidas del Segura en la infraestructura de riego, salvo si

éstas deterioraban el molino y propiedades anexas de Francés Galicant: *“el señor de La Daya, y el lugar de Almoradí se obligavan a sus costas y de todos los regantes de dicha assequia tener corriente dicho azud: y que si en lo venidero aquel se rompiese, le adoba, compondrían, le obrarían, y rehedificarían mientras se sirviessen de dicha assequia: pero que el molino padeciesse algún daño motivado del río, le remediarian a sus costas dicho Galicant, y sus sucesores... que los daños que el río hiciesse en las tierras de dicho Galicant, en ningún tiempo fuessen obligados el señor de La Daya ni Almoradí ni sus regantes”*.

g) Por último, el convenio preveía que, si la represa necesitaba en el futuro alguna reforma que modificara la estructura básica de la obra, no podían negarse los herederos o sucesores del referido Galicant: *“Que si alguno de los regantes vecinos en algún tiempo moviessen algún pleyto sobre levantar dicho azud, o por otra obra que en el se hiziese; en tal caso el referido Galicant, y sus sucesores devían darles todas sus fuerzas, veces, drechos, y escrituras, según que de presente les transfería”*.

La financiación de las obras fue asumida por la comunidad de regantes dependiente del Azud de Alfeitamí, cuya cuantía se elevó a 7.432 libras. Para ello los beneficiarios hicieron derrama anual de 6 sueldos por tahúlla, cantidad que, con el paso del tiempo, se fue reduciendo gradualmente hasta representar un sueldo por tahúlla. Este gravamen concluyó en 1775, año en que se redimió definitivamente el censo impuesto sobre la citada obra (46). Es de destacar que la amortización de la presa de Alfeitamí representó una pesada carga para los regantes, que estuvieron por espacio de dos siglos costearo la infraestructura hidráulica más importante del regadío de Almoradí y huerta limítrofe. Para el señor de La Daya esa obra significó la pérdida de 2.010 tahúllas, confiscadas por el síndico del Azud del Alfeitamí en pago de la deuda contraída por este propietario. Esta superficie fue en 1620 traspasada a don Jerónimo Rocamora, para amortizar parte del coste de dicha construcción.

Del citado azud arrancan dos acequias conocidas con el nombre de Nueva de Almoradí y Del Río. Entre ambas riegan 25.219 tahúllas, cubriendo mayor superficie la primera, con 22.150 tahúllas, frente a las 3.069 de la segunda. Por la memoria de Roca de Togores realizada en el siglo XIX, conocemos las características técnicas de estos canales de riego: *“La acequia Nueva de Almoradí tiene dos boqueras que separa un pilar del ancho de 2 palmos, 5 ½ dedos, formando dos partidos iguales de 4 palmos, 6 dedos de anchura, y 7 palmos, 8 dedos de altura cada uno, los cuales constituyen su marco por donde el cauce recibe del Segura 273 ¼ hilas de agua, que emplean 22.150 tahúllas, con tanta cada quince días, distribuidas en doce paradas... Á distancia de 2.125 varas de la boquera de esta acequia se divide la misma en dos brazos, por medio de un tajamar, de ellos el de la izquierda, ó principal se llama la Acequia Mayor, y el de la derecha el Acueducto del Llano; éste se subdivide á su conclusión en los nombrados de D. Felipe y de la Algalia: se extiende dicha acequia como 1 ¼ legua, y termina la Mayor en el azarbe de la Reina ó Recibidor, y las dos hijuelas de la del Llano en los azarbes de la Anilla y Viejo de Almoradí, despues de incorporarse la de la Algalia con el Acueducto de Cotillént”*(47).

La otra acequia, denominada Del Río *“toma á continuación de la anterior; el marco de su boquera, que se halla internada unas 84 varas de la ribera del Segura, tiene 13 palmos de alto, con 3 y 9 dedos de ancho, y por él percibe 18 ½ hilas de agua, que riegan 3.069 tahúllas, con tanta en cada veinte y ocho días, por medio de 12 paradas... Corre este acueducto 1 ½ legua, y dividido en dos brazos, concluye uno de ellos en el Azarbe Viejo de Almoradí, partido de los Palacios, y el otro en la Acequia de Daya Vieja, bien que existe otro desagüe antiguo al río, pero sin uso, en la hacienda de los padres agustinos de Orihuela, como mil varas al este de Formentera”*(48).

La superficie puesta en regadío por ambos cauces se distribuye de forma desigual entre los municipios por los que discurren. A la cabeza se encuentra Almo-

radí con 13.535 tahúllas; seguido a gran distancia por Dolores con 4.488 tahúllas, única superficie que en las Pías Fundaciones del Cardenal Belluga se benefició de aguas vivas, pues las restantes tierras lo son con aguas muertas; les siguen Daya Nueva y Puebla de Rocamora con 3.200 y 2.046 tahúllas respectivamente, que constituyen la totalidad de las tierras regadas para dichos municipios; por último, en Formentera y Rojas las acequias cubren 1.050 y 900 tahúllas en sendas localidades, lo que representa una pequeña porción del regadío, pues ambas disfrutaban de propias tomas de agua en el río Segura.

La construcción del Azud de Alfeitamí y la red de riego que abastece conllevó el crecimiento del espacio regado a finales del siglo XVI y supuso un logro nada despreciable para los vecinos de Almoradí y pueblos limítrofes. Este hecho propició una serie de transformaciones de diversa índole (roturación de terrenos, incremento de la agricultura, reducción del almarjal y aumento de la actividad comercial, entre otras) que ampliaron las posibilidades económicas y posibilitaron un mayor desarrollo demográfico. Para tener una visión de conjunto baste recordar que, en el siglo XIII, la superficie regada que comprendía la demarcación de Almoradí abarcaba 2.514,5 tahúllas (incluidas las de Algorfa), con riego de las acequias Alquibla y Vieja de Almoradí.

El exhaustivo y detallado estudio que realiza Roca de Togores sobre el regadío en la Vega Baja señala para este municipio una superficie regada a finales del siglo XVIII de 17.087,5 tahúllas. Decisiva fue la infraestructura hidráulica que aportó el Azud de Alfeitamí a finales del siglo XVI, por cuanto los terrenos regados se multiplicaron de forma considerable a costa de la reducción del almarjal, de manera que la superficie con riego derivada de esta presa alcanzó un total de 13.535 tahúllas. El aumento del regadío y las consiguientes perspectivas económicas creadas alentaron al vecindario a solicitar la independencia municipal de Orihuela, hecho que tendrá lugar en 1583. Conviene precisar que, unos años antes a este acontecimiento, según

CUADRO I
Infraestructura de riegos en Almoradí

| AZUD | CAUCE | SUPERFICIE | % |
|-------------------|---------------------------|-------------|------|
| De las Norias | Acequia de Alquibla | 1.357 th. | 7,9 |
| De Almoradí | Acequia Vieja de Almoradí | 1.157,5 th. | 6,8 |
| De Alfeitamí | Acequia Nueva de Almoradí | 11. 916 th. | 69,7 |
| De Alfeitamí | Acequia del Río | 1.619 th. | 9,5 |
| De Callosa-Catral | Acueducto del Mudamiento | 1.038 th. | 6,1 |

recoge el censo de Jerónimo Muñoz fechado entre 1565 y 1572 junto con otras fuentes, Almoradí era, después de Orihuela y Callosa de Segura, la población más numerosa de la comarca, seguida de Guardamar y Albatera (49).

La repercusión del Azud de Alfeitamí para Almoradí y La Daya

Además de la puesta en cultivo de los terrenos semipantanosos, la consolidación del Azud de Alfeitamí se tradujo en estos dos núcleos en aspectos de signo diferente. Para Almoradí supuso el logro de la independencia municipal de Orihuela, mientras que para La Daya representó una pérdida territorial por el endeudamiento de su propietario.

La segregación de Almoradí del dilatado término de Orihuela responde al desarrollo económico y demográfico que este lugar adquiere desde mediados del siglo XVI en relación con la pujanza agrícola y la ampliación del regadío. La prolongación y mejora de la infraestructura de riego y el progresivo retroceso de la zona pantanosa existente en sus alrededores están en el origen de la proyección que adquiere este núcleo con el paso del tiempo, hasta lograr la categoría de universidad y con ello constituirse en municipio independiente.

La investigación realizada por José Ojeda avala el importante salto demográfico que experimentó Almoradí a lo largo del siglo XVI. Según el citado autor, que

ha utilizado los padrones fiscales elaborados por la Hacienda Real para la recaudación de impuestos, cotejados con la documentación que aportan otras fuentes coetáneas (compra de bulas), observa, para el periodo estudiado de 1513 a 1609, cómo en término absolutos el vecindario de Almoradí se incrementa de 116 casas a 280 (50). Esta evolución presenta a lo largo de esa centuria algunos altibajos producidos por epidemias, inundaciones o malas cosechas, si bien su incidencia no fue tan acusada como para contrarrestar el fuerte aumento demográfico que multiplicó por 2,4 la población inicial. A lo largo de la etapa se pone de manifiesto también un cambio en la estructura social en el sentido de una mayor presencia de las clases medias altas en detrimento de los grupos más necesitados. Este hecho se halla estrechamente vinculado con la bonanza económica derivada de la ampliación del regadío y se manifiesta, por un lado, en la riqueza ornamental y las reformas arquitectónicas que se realizaron en la iglesia parroquial de San Andrés y en el núcleo urbano; por otro, en el ansia de autogobierno de las clases dirigentes. Estas premisas se corresponden con una sociedad de talante renacentista, caracterizada por un espíritu innovador, frente al comportamiento menos dinámico de las generaciones en la etapa medieval.

La favorable coyuntura socioeconómica sustentó los deseos de emancipación y de erigirse en municipio autónomo de Orihuela. Para la consecución de este logro era indispensable que el lugar accediera a la categoría de universidad, cuya adquisición solo podía obte-

nerse mediante privilegio expreso otorgado por la corona. Como señala Bernabé Gil, se trata de una fórmula tardía de desmembración municipal, que probablemente no se iniciaría en el realengo valenciano antes de la década de 1570 (51).

Será en la segunda mitad del siglo XVI cuando el lugar de Almoradí se convierte en universidad. Este título se debió a Felipe II, quién por Privilegio Real concedido en El Escorial el día 5 de octubre de 1583, erigía Almoradí en municipio independiente con término propio, segregándolo de la ciudad de Orihuela (52). Unos años después, el comisario real Felipe Juan Monterde delimitaba, junto con expertos de Orihuela y Almoradí, de forma precisa la demarcación que debía tener el nuevo municipio (53).

El amojonamiento de tierra englobaba para Almoradí un extenso territorio que comprendía tres partes, con características físicas bien diferenciadas. El espacio septentrional se incluía todo él en el llano aluvial del Segura. La parte central estaba formada por una zona elevada (Lomas de la Juliana, Cabezo de las Chinas y La Escotera, donde se alcanzan los 214 metros). Tras este sector montañoso, en la parte meridional del término, de nuevo aparece una zona de llanura que desciende hacia las salinas de Torrevieja y que configura, junto con el tramo anterior, el extenso secano del municipio. Es de destacar la dualidad paisajística y de aprovechamientos agrarios existente en este término, al participar tanto de terrenos de regadío como de secano. Si bien a finales del siglo XVI todavía quedaban, según se desprende del amojonamiento, algunos terrenos almarjales y salinos pendientes de bonificación, como los ubicados al norte en la zona colindante con Catral -paraje conocido con el nombre de Matarredonda y el Algeminado- que serán objeto de desecación entrado el siglo XVIII (54). El saneamiento fue posible al evacuar las aguas estancadas mediante la infraestructura de avenamiento creada por el Cardenal Belluga para la colonización de las Pías Fundaciones. También en la parte meridional existían humedales y saladares en las inmediaciones de las lagunas de Torrevie-

ja y La Mata que, avanzado el siglo XIX y en virtud de la Ley de Colonias Agrícolas de 1868, fueron rescata-dos para el cultivo (55).

La obtención del privilegio de universidad comportaba una contraprestación en metálico relativamente elevada a favor de la corona, debido a las dificultades por las que atravesaba la hacienda pública en el reinado de Felipe II, circunstancia esta que fomentó el proceso segregacionista en tierras valencianas al objeto de recaudar fondos. A título de ejemplo, citar que la población de Callosa de Segura, para independizarse de Orihuela en 1579, tuvo que entregar a la monarquía 8.000 libras; unos años después, en 1583, Almoradí pagaría por idéntico motivo y al objeto de lograr la credencial de universidad la cantidad de 5.000 libras.

La categoría de universidad conseguida por una localidad conllevaba el autogobierno vecinal. La jurisdicción otorgada con el citado título era la denominada alfonsina o menor, para el núcleo segregado, que dependía de la ciudad matriz en lo referente a la jurisdicción mayor. Además, la adquisición de rango municipal comportaba la posibilidad de organizarse de forma autónoma, con cargos de gobierno y administración, elegidos entre el propio vecindario como eran los de justicia, jurados, síndico, almotacén, sobrecequero y clavario, entre otros. Todos ellos ejercían sus funciones de forma independiente y con carácter anual, nombrados por los jurados y el consell de la localidad. Así mismo, la jerarquía de universidad suponía la creación de una alhóndiga municipal de granos para la regulación del mercado y abastecimiento de trigo, al igual que la autorización de celebrar mercado un día a la semana. El nuevo municipio contaba con un representante de la administración real, el denominado baile local, que era el encargado de controlar los impuestos municipales, siendo potestad de la corona el nombramiento del cargo de escribano.

Por el contrario, la construcción del azud de Alfeitamí llevó para La Daya un proceso de segregación territorial. El coste de la obra representó para Jaime Masquefa, señor jurisdiccional de la baronía, un

endudamiento considerable que, al no tener liquidez económica, le forzó a desprenderse de bienes territoriales. Para la consolidación de la presa y ampliación de su infraestructura de riego, los propietarios beneficiados por sus aguas convinieron la imposición de censos para sufragar el montante de la edificación y la amortización del mismo mediante derramas anuales. No obstante, en 1609, el señor de La Daya debía a la comunidad de regantes más de 8.000 libras. Ésta intentó liquidar la deuda contraída aunque sin efectividad alguna, hasta que por sentencia de 1616 se decretaba la expropiación de una parte de las tierras de dicha baronía, exclusivamente las que eran necesarias “*per a pagar tot lo credit del dit Asut*” (56).

Llegado el momento de la subasta y venta, en 1619, sólo se presentó la puja del síndico del mencionado azud que actuaba en nombre de la comunidad de beneficiarios, de manera que el heredamiento se hizo con un patrimonio de 2.010 tahúllas, pertenecientes a Salvador Masquefa en su baronía de La Daya. Apenas transcurrido año y medio el síndico de Alfeitamí tras pasaba este extenso predio a Jerónimo Rocamora, en pago de una parte de las deudas que tenía contraídas con él.

Según ha estudiado David Bernabé, la operación contaba con el interés de este destacado terrateniente, que indujo al remate de las tierras a favor del azud, a cambio de una gratificación económica de 500 libras. Pues desde 1610 los regantes debían al citado Rocamora diez pensiones atrasadas de un censal de 7.000 libras, además de otras cantidades adelantadas para financiar las acciones judiciales contra el señor de La Daya. Por estos conceptos el Azud de Alfeitamí era deudor de 5.904 libras, 1 sueldo, 3 dineros, cantidad sensiblemente inferior a las 7.892 libras, 19 sueldos, 11 dineros, en que fueron tasadas las 2.010 tahúllas de Masquefa. Esta acción favoreció a ambas partes, ya que el heredamiento de Alfeitamí se ponía al corriente en la deuda pendiente con Jerónimo Rocamora, además de rebajar en 1.925 libras, 18 sueldos, 8 dineros el censal de 7.000 libras. Éste último veía incrementar

notablemente su patrimonio y conseguiría años después una de sus principales preocupaciones como era la adquisición de la jurisdicción. En 1631 solicitaba a la corona la concesión del mero y mixto imperio sobre el lugar recién levantado en el territorio de La Daya, al que llamó Puebla de Rocamora. La concesión *gubernatorio nomine* a cambio de 22.000 reales castellanos representaba la independencia municipal de este pequeño caserío.

Ordenanzas de riego para el Azud del Alfeitamí

La creación del Azud de Alfeitamí significó una ardua tarea, no exenta de problemas financieros para la amortización de la inversión realizada. Este hecho acreó, además de los eventos ya señalados, la pérdida de autoridad en el gobierno de las aguas de los regantes, al quedar ésta asumida a partir de 1712 por el alcalde de Orihuela, circunstancia que se subsanó antes de que concluyera esa centuria. En efecto, el 14 de agosto de 1790, Pascual Girona, vecino de Almoradí y síndico general de la universidad y de las tierras regadas por el Azud de Alfeitamí, exponía ante el Consejo de Castilla que: “*construido el mencionado Azud para el riego y beneficio de las Huertas y demás Heredades del término de dicha Villa, siendo de cuenta de los dueños y poseedores de ellas el mantenerle compuesto, limpio y corriente á sus expensas, y también las acequias, conductos, brazales y demas aqüeductos, que hacen á la distribucion comun y particular de las aguas; y del mismo modo ha habido en el propio Pueblo, como en todos los demas de la Vega, un Sobrecequero, ó Juez de Aguas con la obligacion de zelar el buen estado de dicha Presa, Acequias y demas conductos del riego, y con facultades y jurisdiccion privativa para conocer de todos los asuntos que ocurren allí con motivo de las aguas, y para hacer efectivos de los Posesioneros los repartos de las cantidades necesarias para sus mondas, limpias y demas obras que ocurren, haciéndose siempre en nombramiento de este Juez por aquel Comun todos los años, al mismo tiempo y en la propia*

forma que se practica la eleccion de los demas Oficiales de Justicia, sin que estoviesse subordinado en manera alguna al Alcalde mayor de la Ciudad de Orihuela, ni á su Cabildo, ó Ayuntamiento” (57).

La veracidad de la queja emitida estaba avalada por una serie de documentos entre los que destacan una Real Provisión de la Audiencia de Valencia fechada el 18 de junio de 1585, en la que se determinaba que la elección de sobrecequero para aquella universidad debía realizarse por insaculación entre los regantes; asimismo presenta cinco capítulos de las ordenanzas de riego de la huerta de Orihuela, elaboradas por Gerónimo Mingot en 1625, en la que se indicaba la existencia de sobrecequero en las universidades segregadas de esa ciudad. El mencionado síndico insistía en su escrito sobre *“la usurpación y violento despojo”* que a los regantes les había hecho el alcalde de Orihuela, al nombrar éste el cargo de sobrecequero. Esta facultad pasó a la autoridad oriolana por acuerdo de la Audiencia de Valencia, ya que el sobrecequero, que hasta entonces elegía el común de regantes, *“se mantuvo en la mas puntual observancia en la Villa de Almoradí hasta el año de mil setecientos doce, en que con motivo de haberse representado á esta Superioridad por el Sobrecequero de aquel Comun, que no podia hacer efectivos por sí de los Posesioneros que estaban fuera de su jurisdiccion las derramas que se habían hecho para cubrir las pensiones del censo tomado para la construccion del referido Azud de Alfeytamí, se dió comision al Alcalde mayor de Orihuela para que les estrechase á su pago; pues desde entonces, habiéndose avocado á sí, á la sombra de esta comisión, dicho Alcalde mayor toda la jurisdiccion y facultades de aquel Sobrecequero”* (58).

En varias ocasiones, 1760 y 1776, los regantes de Almoradí reclamaron ante la Audiencia de Valencia que cesara la atribución que en su día ésta concedió al alcalde de Orihuela, si bien las peticiones no prosperaron al no habilitarse partida presupuestaria para seguir el proceso jurídico. La situación entró en una vía diferente a finales de centuria ya que el censo suscrito por

el heredamiento para la construcción de la presa de Alfeitamí estaba a punto de terminarse. En este sentido Pascual Girona reconocía que *“ya espiró el motivo de la comision dada al Alcalde Mayor de Orihuela en el año mil setecientos y doce; y que tambien se logró ya el desempeño, ó redención de censos, entonces ascendente el capital de ellos á siete mil y cuatrocientas libras, pues en el día si se corresponde al de mil, tiene la Presa á su favor otro que le contribuyen de igual cantidad”* (59).

Estas circunstancias alentaron a proseguir la antigua reclamación presentada en la Audiencia de Valencia, una vez concluida la causa que motivó la asunción de la autoridad por parte del alcalde de Orihuela; pues las cargas económicas pendientes que conllevó la construcción ya estaban compensadas con los beneficios que recibía el heredamiento. El representante del Azud de Alfeitamí exponía que debía ser la citada Audiencia, quien resolviera el conflicto, al haber dictaminado ésta la intervención de la autoridad oriolana. De este modo los regantes pretendían impedir que se pidiera el parecer al ayuntamiento de Orihuela, al objeto de evitar un largo y costoso litigio que les llevara a *“abandonar como en las anteriores ocasiones su derecho”*.

La petición elevada por Pascual Girona terminaba solicitando el cese del alcalde mayor de Orihuela en los asuntos de aguas concernientes al Azud de Alfeitamí y que fuera el común de Almoradí quien nombrara el juez o sobrecequero de aguas de su heredamiento. Con esta medida se conseguirían mejoras importantes para la superficie regada derivada de esta presa, cuyo síndico las agrupaba en tres apartados que atendían a la gestión, economía e infraestructuras del regadío. Con la primera se lograría una intervención inmediata en los conflictos planteados por la distribución de las aguas; la segunda supondría un ahorro pecuniario al suprimirse los gastos de desplazamientos que cobraba el alcalde de Orihuela por asistir a las juntas y la tercera permitiría una vigilancia efectiva para la realización de las obras precisas en los cauces de riego.

El Consejo de Castilla, con informe favorable de la Audiencia de Valencia, aprobó en 1791 las reivindicaciones de la villa de Almoradí “y que los Vecinos regantes de este pueblo nombrasen la persona que debiese servir este encargo de tres en tres años”. Asimismo determinaba que se elaboraran nuevas ordenanzas de riego, modificando las antiguas con la introducción de una normativa más acorde con la situación del momento. Éstas fueron elaboradas por Andrés Rodríguez Ferrer, abogado del ayuntamiento de Almoradí, y tras ser aprobadas por la Junta General de Regantes y por la Audiencia de Valencia, se remitieron al Consejo de Castilla, donde se aprobaron el 11 de diciembre de 1793 (60).

(1) CANALES MARTÍNEZ, G. y VERA REBOLLO, J.F.: “Colonización del cardenal Belluga en las tierras donadas por Guardamar del Segura: Creación de un paisaje agrario y situación actual”, *Investigaciones Geográficas*, nº 3, Alicante, Instituto Universitario de Geografía, 1985, pp. 143-160.

(2) DE EPALZA, M.: “Guardamar (“río de las Dunas”) Valdemoro (“río Amargo”) y Mesleón (“posada de Fuentes”): Tres topónimos árabes romanceados”, *Instituto de Estudios Alicantinos. Revista de Investigación y Ensayo*, nº 38, Alicante, Instituto de Estudios Alicantinos, Diputación Provincial, enero-abril 1983, pp. 89-99.

(3) GONZÁLEZ PRATS, A. y GARCÍA MENÁRGUEZ, A.: “La colonización fenicia en el tramo final del río Segura (Guardamar del Segura, Alicante)”, *Alquibla. Revista de Investigación del Bajo Segura*, nº 3, Alicante, Centro de Investigación del Bajo Segura, Imprime Pictografía, S.L. (Murcia), 1997, pp. 87-102.

(4) MARTÍNEZ PATERNA, F.: “Historia de la ciudad de Orihuela y de sus pueblos oritanos; trátase de su obispado, gobernación y baylía general; de los montes, de los río y fuentes y islas, de los promontorios, senos y puertos que tiene esta provincia”, Orihuela

1632, 39 fols. (manuscrito) en VILAR, J.B.: “Orihuela una ciudad valenciana en la España moderna”. *Historia de la ciudad de Orihuela*, Murcia, Edita Patronato Angel García Rogel (Orihuela), 1981, T. IV, vol. III, p. 867.

(5) GUTIÉRREZ LLORET, S.: “El origen de la huerta de Orihuela entre los siglos VII y XI. Una propuesta arqueológica sobre la explotación de las zonas húmedas del Bajo Segura”, *Arbor*, nº 593, Madrid, 1995, pp. 65-93. DE GEA CALATAYUD, M.: “La construcción del paisaje agrario en el Bajo Segura. De los orígenes hasta la implantación de la red de riego-drenaje principal en el alfoz oriolano”, *Alquibla. Revista de Investigación del Bajo Segura*, nº 1, Alicante, Centro de Investigación del Bajo Segura, Imprime Pictografía, S.L. (Murcia), 1995, pp. 65-99.

(6) GUTIÉRREZ LLORET, S.: “La geografía del Bajo Segura según Al-Udri (siglo XI): Una propuesta de identificación de la alquería de Tall Al-Jattab”, *Alquibla. Revista de Investigación del Bajo Segura*, nº 1, Alicante, Centro de Investigación del Bajo Segura, Imprime Pictografía, S.L. (Murcia), 1995, pp. 53-64.

(7) DE GEA CALATAYUD, M., “La construcción del paisaje agrario...”, *Op. cit.*, pp. 71-72.

(8) GUTIÉRREZ LLORET, S.: “El aprovechamiento agrícola de las zonas húmedas: la introducción del arcaduz en el sureste de Al-Andalus (siglos VIII y XIX)”, *Arqueología y territorio medieval*, nº 3, Jaen, Universidad de Jaen, Área de Historia Medieval, Imprime Talleres Gráficos Arte (Granada), 1996 pp. 7-19.

(9) LÓPEZ GÓMEZ, A.: *Estudios sobre regadíos valencianos*, Valencia, Universidad de Valencia, 1989, 177 p.

(10) DE GEA CALATAYUD, M.: “La formación y expansión decisiva de la huerta de Murcia-Orihuela: un enfoque desde la perspectiva de la Orihuela musulmana (siglo VIII-XIII)”, *Alquibla. Revista de Investigación del Bajo Segura*, nº 3, Alicante, Cen-

- tro de Investigación del Bajo Segura Alquibla, Imprime Pictografía, S.L. (Murcia), 1997, pp.155-217.
- (11) DE GEA CALATAYUD, M.: "Sobre el establecimiento en su estructura inicial y fundamental de la red de riego-drenaje principal del Bajo Segura", *Alebus, Cuadernos de estudios históricos de Elda y valles del Vinalopó*, nº 2-3, Elda, 1992-1993, pp. 196-218.
- (12) MULA GOMEZ, A.J., HERNÁNDEZ FRANCO, J. y GRIS MARTINEZ, J.: *Las obras hidráulicas en el Reino de Murcia durante el reformismo borbónico. Los reales pantanos de Lorca*, Murcia, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1986, pp.28-59.
- (13) HERNÁNDEZ GARCÍA, J.: "El poblamiento rural romano en el área de Águilas (Murcia)", *El poblamiento rural romano en el sureste de Hispania*, Murcia, Universidad de Murcia, Ayuntamiento de Jumilla, Caja-Murcia, Comunidad Autónoma de Murcia, Edición Compobell, S.L., 1995, pp. 183-201. MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, A.: "El poblamiento rural romano en el valle del Guadalentín (Lorca, Murcia)", *El poblamiento rural romano en el sureste de Hispania*, Murcia, Universidad de Murcia, Ayuntamiento de Jumilla, Caja-Murcia, Comunidad Autónoma de Murcia, Edición Compobell, S.L., 1995, pp. 203-225.
- (14) FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A.: *Catálogo de noventa presas y azudes españoles anteriores a 1900*, Madrid, Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, 1984, pp. 11-16.
- (15) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE, J.: *Memoria sobre los riegos de la huerta de Orihuela*, Valencia, Benito Monfort, impresor de la Real Sociedad Económica y Reino de Valencia, 1832, p. 23.
- (16) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE, J., *Op. cit.*, p. 25.
- (17) MOLINA LÓPEZ, E.: "La cora de Tudmir según Al-Udri (s. XI). Aportaciones al estudio geográfico-descriptivo del sureste peninsular", *Cuaderno de historia del Islam*, nº 3 Granada, Seminario de Historia del Islam de la Universidad de Granada, 1972, p. 45. En opinión de este autor, la raíz w-l-d, en la forma II, corresponde a un participio activo en estado constructo, plural masculino, "los conversos", "muladíes". Se pregunta, además, si es posible que durante la ocupación musulmana hubiera en esta parte del Levante español una zona donde se recluyeran los nuevos conversos al Islam. Si la respuesta es afirmativa, no hay resto toponímico que la identifique.
- (18) VILAR, J.B.: "Orihuela musulmana". *Historia de la ciudad de Orihuela*, Murcia, Edita Patronato Angel García Rogel (Orihuela), 1976, T. II, p. 152.
- (19) FRANCO SÁNCHEZ, F.: "Noticias de época islámica sobre inundaciones fluviales en el Baix Vinalopó y en la Vega Baja del Segura", *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, Murcia, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, C.A.M., 1989, pp. 375-394.
- (20) GUICHARD. P.: "El Islam alicantino", *Historia de la provincia de Alicante*, Murcia, Ediciones Mediterráneo S.A. 1985, T. III, pp. 138-158.
- (21) VILAR, J.B.: "Orihuela musulmana", *Op. cit.*, pp. 217-219.
- (22) TORRES FONTES, J.: *Repartimiento de Orihuela*, Murcia, Academia Alfonso X El Sabio, Patronato Ángel García Rogel de Orihuela, 1988, pp. LXXVII y XCIX.
- (23) MARTÍNEZ PATERNA, F.: "Historia de la ciudad de Orihuela y sus pueblos oritanos...", *Op. cit.*, T. IV, vol. III, pp. 866.
- (24) BERNABÉ GIL, D.: "La formación de un patrimonio nobiliario en el seiscientos valenciano. El primer marqués de Rafal", *Revista de Historia Moderna, Anales de la Universidad de Alicante*, nº 5, 1985, p. 32.
- (25) TORRES FONTES, J., *Op. cit.* pp. 10-11.

- (26) TORRES FONTES, J., *Op. cit.*, p. CXXVIII.
- (27) TORRES FONTES, J., *Op. cit.*, p. CXXIX.
- (28) TORRES FONTES, J., *Op. cit.*, p. 126.
- (29) Copia de la escritura: *El señor Rey Don Jayme el segundo de Aragon por su Real Privilegio dado en Guardamar en 5 de las calendas de mayo 1296 donó a Guillermo Dufort su consejero para él y para los suyos perpetuamente el lugar de la Daya, y tota aquella heredad que era antes de Fernando Pedro de Guzmán.* ARCHIVO PRIVADO MARQUÉS DE DOS AGUAS.
- (30) Copia de la escritura: *Pascual de Xea Bayle, y Alcayde de la universidad de Moxente procurador general de Don Pedro Maza de Lizana Señor de Moxente según el poder otorgado en la misma universidad ante Bernardo Varó en 13 de las calendas de abril 1353, con otra ante Arnau Segarra escribano de Orihuela en 4 de julio 1354 vendió a Jayme Masquefa, y a Doña Blanca su muger vecinos de Orihuela el mencionado lugar de la Daya.* ARCHIVO PRIVADO MARQUÉS DE DOS AGUAS.
- (31) COROMINES, J.: “Deia”, *Onomasticon Cataloniae*, Barcelona, Curial Edicions Catalanes, 1995, T. IV, pp. 14-15.
- (32) BARCELÓ TORRES, C.: *Toponimia árabe del País Valencià. Alqueries i castells*, Xàtiva, 1982, 307 pp.
- (33) GUTIÉRREZ LLORET, S., “La geografía del Bajo Segura según Al-Udri...”, *Op. cit.*, p. 58.
- (34) GUICHARD, P., “El Islam alicantino”, *Op. cit.*, pp. 140-142.
- (35) VILAR, J.B.: “Los siglos XIV y XV en Orihuela”, *Op. cit.*, T. III, pp. 148-149. VILAR J.B.: *La baronía de Daya Nueva. Aproximación a la historia rural del sur valenciano*, Alicante, Club Excelsior de Daya Nueva, Gráficas Antar, S.L., 1992, pp. 43-49.
- (36) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 30.
- (37) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 32-33.
- (38) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 37.
- (39) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 38.
- (40) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 57.
- (41) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 46.
- (42) Copia de la escritura de concordia: *Mosen Jayme Masquefa señor de la Daya, y el syndico del mismo lugar de una, y Miguel Muñoz, syndico de Almoradi de otra en 4 de abril de 1400 ante el sobresequero de Orihuela.* ARCHIVO PRIVADO MARQUÉS DE DOS AGUAS.
- (43) Copia de la escritura: *Mosen Jayme Masquefa, cavallero señor de la Daya en 11 de setiembre de 1420 presento en la corte, y juzgado de el sobresequero de las aguas de Orihuela, y sus términos un pedimento en que expresava que siendo sobresequero de Orihuela, y sus terminos Juan Garriga, doña Blanca viudad de mosen Jayme Masquefa, y los habitantes de la Daya de palabra alegaron contra los habitantes del lugar de Almoradi varias querellas sobre el uso del agua de la acequia de dichos lugares.* ARCHIVO PRIVADO MARQUÉS DE DOS AGUAS.
- (44) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 47.
- (45) Copia de la escritura. *Don Francisco Boyl, y Masquefa señor de la Daya, Luis Carbonell syndico de Almoradí, y regantes de la assequia de Almoradí, y la Daya, según el poder ante Luis Agullana en 15 de julio de 1571, de una parte, y Frances Galicant señor de el molino de Alfaytami de otra parte, con escritura ante el mismo Agullana en 30 de agosto del mismo año, concordaron los capítulos siguientes...*, s.f. ARCHIVO PRIVADO MARQUÉS DE DOS AGUAS.
- (46) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, p. 47.
- (47) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE. J., *Op. cit.*, pp. 47-48.

- (48) ROCA DE TOGORES Y ALBURQUERQUE, J., *Op. cit.*, p. 49.
- (49) MILLÁN Y GARCÍA-VARELA, J.: *Rentistas y campesinos. Desarrollo agrario y tradicionalismo político en el sur del País Valenciano (1680 - 1840)*, Alicante, Instituto Juan Gil-Albert, Diputación Provincial, 1984, p. 27.
- (50) OJEDA NIETO, J.: “Almoradí en el siglo XVI: aunte socio-demográfico”, *Alquibla, Revista de Investigación del Bajo Segura*, nº 6, Murcia, Edita Centro de Investigación del Bajo Segura Alquibla, Imprime Pictografía, S.L., 2000, pp. 515-539.
- (51) BERNABÉ GIL, D.: “Universidades y villas. Notas sobre el proceso de segregación municipal en el realengo valenciano (siglos XVI y XVII)”, *Revista de Historia Moderna, Anales de la Universidad de Alicante*, nº 6-7, 1986-87, pp. 11-38.
- (52) *Cancillería Real. Diversorum*, nº 357, ff. 81 v-98 v. ARCHIVO REINO DE VALENCIA.
- (53) MÍNGUEZ VALDÉS, L.: “Un documento interesante”, *Almoradí, feria y fiestas*, 1983, Alicante, Edita Ayuntamiento de Almoradí, Imprime Coop. de A.G. Gutenberg, 1983, sin paginar.
- (54) *Concordia entre D. Francisco Soler de Vilanova, presbítero y prepósito de la Congregación y Oratorio de San Phelipe Neri de la ciudad de Murcia...* y de la otra parte el Doctor D. Pasqual Ruiz y Villafraña, canónigo doctoral de la Santa Iglesia de esta ciudad, otro de los síndicos de el heredamiento de la Azarve de Avanilla por los ilustres Dean y Cabildo... En Orihuela a trece días del mes de abril de mil settecientos y veinte años. Copia de escritura nº 54, s. f. Armario propiedades de la Iglesia. ARCHIVO CATEDRAL DE ORIHUELA.
- (55) *Dirección General de Agricultura Industria y Comercio. Provincia de Alicante. Fincas acogidas a los beneficios de la Ley de población y colonización rural de 3 de junio de 1868. Alicante 22 de abril de 1885. Legajo 215, carpeta nº 1. ARCHIVO CENTRAL DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA MADRID.*
- (56) BERNABÉ GIL, D., “La formación de un patrimonio nobiliario...” , *Op. cit.*, p. 32.
- (57) *Real Provisión de su Magestad y señores del Consejo, por la qual se aprueban y mandan guardar las Ordenanzas formadas para el gobierno de las Aguas del Azud de Alfeitami , término dela Villa de Almoradí, Reyno de Valencia.* Copia impresa en Almoradí, Imprenta Alonso, MCMLV, pp. 3-4.
- (58) *Real Provisión de su Magestad...* *Op. cit.*, p. 5.
- (59) *Real Provisión de su Magestad...* *Op. cit.*, p. 8.
- (60) *Real Provisión de su Magestad...* *Op. cit.*, p. 58.

Evolución contemporánea de los aprovechamientos hidráulicos en la Región de Murcia

▣ **Joaquín Melgarejo Moreno**

Dpto. de Análisis Económico Aplicado
Universidad de Alicante

Las cuestiones hidráulicas, en general, constituyen el eje central en la reconstitución de la historia económica de la Región de Murcia. Hasta tal punto esto es así, que hacer la historia de esta región es, prácticamente, hacer la historia del uso de sus recursos hídricos. Pocas veces la evolución de una sociedad ha estado tan condicionada por el agua como la murciana. Este hecho, junto con la importancia que la economía agropecuaria tiene en esta zona, hace que la estructura socioeconómica venga determinada por la arquitectura de los poderes hidráulicos. En estas condiciones y hasta la actualidad, el mantenimiento y desarrollo de las actividades económicas se basan en la búsqueda permanente y en la utilización máxima de los débiles recursos hídricos superficiales y subterráneos. Si tradicionalmente es la tierra lo que define la estructura socioeconómica de las sociedades con base agrícola, en el caso de Murcia será la tierra junto con el agua el elemento diferenciador.

Los pantanos de Puentes (1788) y Valdeinfierno (1791) marcaron un hito de singular interés en la historia de las obras hidráulicas, como antecedentes obli-

gados de las grandes presas actuales. Frente a los 3,7 Hm³ del embalse de Tibi, el mayor de los existentes hasta entonces, Valdeinfierno y Puentes debían retener 23 y 60 Hm³. Una capacidad superior a la de este último no se consiguió en España hasta 1912, fecha en que se construyó el embalse de Guadalquivir o Majaceite.

Durante la primera mitad del siglo XIX se produjo una importante recesión del espacio cultivado en regadío. El momento fue particularmente grave para la comarca del Guadalquivir. En este sentido, la rotura de Puentes en 1802 y el aterramiento de Valdeinfierno acabaron con la esperanza de ampliar y regularizar los regadíos de Lorca. Por el contrario, durante esta centuria la ampliación del regadío se localizó esencialmente en la Vega Alta. Este impulso se explica por la especial situación de los pequeños regadíos del Segura, en los que las dotaciones de agua eran abundantes, lo que les permitió poner en práctica una serie de estrategias y técnicas cuyo objetivo era regularizar el caudal del Segura y llevar sus aguas lo más lejos posible. Así, Calasparra intentó la reconstrucción de presas en el río o en las acequias de Rotas y Esparragal; Cieza derivó nuevos cauces de la presa de los Bautistas; los pueblos

del Valle de Ricote desarrollaron el viejo sistema de ceñas y norias; etc. Todos los pueblos de la Vega Alta –a excepción de Ojós– experimentaron en el período comprendido entre 1832 y 1877 un fuerte incremento de su área regada, como puede apreciarse en la Tabla 1. Si en 1832 el número de tahúllas regadas en la Vega Alta era de 12.350, en 1877 éste se amplió a 62.820.

Tabla 1
Extensión del regadío en la provincia de Murcia
(1832-1877), (en tahúllas)

| Zona | 1832 | 1877 |
|---------------------|--------|-------------|
| Moratalla | 1.404 | 38.520 (1) |
| Calasparra | 2.887 | 4.352 |
| Cieza | 2.631 | 6.479 |
| Abarán | 489 | 895 |
| Blanca | 680 | 1.722 |
| Ojós | 344 | 324 |
| Villanueva | 397 | 752 |
| Ulea | 361 | 563 |
| Archena | 1.556 | 3.086 |
| Lorquí | 748 | – |
| Ceutí | 2.053 | 2.282 |
| Alguazas | 3.051 | 3.600 |
| Molina | 5.731 | 6.729 |
| Murcia | 97.018 | 102.088 (2) |
| Ríos Argos y Quípar | – | 75.541 |
| Río Mula | – | 21.555 (3) |
| Río Guadalentín | – | 139.379 (4) |

(1) Esta cifra es para todo el regadío del río Moratalla.
(2) La huerta de Murcia comprende Murcia, Alcantarilla y Beniel, y unas 6.479 tahúllas de la huerta y término de Orihuela.
(3) La cuenca del río Mula comprende los términos municipales de Bullas, Mula y Albudeite.
(4) Esta cifra comprende los términos de Lorca, Totana, Aledo, Alhama y Librilla, aunque unas 90.000 tahúllas son del término de Lorca.
Fuente: J. Roca de Togores y Albuquerque (1832), Memoria sobre los riegos de la huerta de Orihuela, Valencia; P. Díaz Cassou (1879), Memoria sobre los riegos del Segura, Murcia; y R. García y L. Gaztelu (1886), Proyecto de obras de defensa contra las inundaciones en el Valle del Segura, Murcia.

El último tercio del siglo XIX fue para toda Europa un período de crisis agraria. En España, se realizó una encuesta en 1887 con el significativo título *La cri-*

sis agrícola y pecuaria. Tomás Museros –uno de los encargados de responder a la encuesta en Murcia– identificaba claramente los problemas de la agricultura murciana con “la falta de agua y la necesidad consiguiente de constituir una red de regadíos adecuada a la región”. Murcia, que tradicionalmente había estado sometida a la alternancia de períodos de extrema penuria de recursos hídricos con otros en que las avenidas sembraban la desolación por doquier, se alzó como pioneras de las ideas regeneracionistas que señalaban la necesidad de iniciar una política hidráulica integral, que pusiera fin a los dos males por excelencia de la cuenca del Segura: la “pertinaz sequía” y las catastróficas inundaciones. Fue precisamente la tristemente famosa “riada de Santa Teresa” (1879) la que evidenció la insuficiencia de las obras hasta ese momento realizadas, a la vez que representó el punto de arranque de una nueva concepción de las obras de defensa y regulación de la cuenca del Segura.

La magnitud de las obras a realizar y los beneficios de carácter público que de ellas se derivaban hicieron del Estado el principal artífice y sostenedor de éstas. También, los conflictos de intereses que estas obras planteaban hacían que el Estado se presentara como el único árbitro capaz de superarlos apelando al “interés general”. En la cuenca del Segura, la política hidráulica se concretó en el *Proyecto de obras de defensa contra las inundaciones en el Valle del Segura*, elaborado en 1886 por R. García y L. Gaztelu. El objetivo de este proyecto era regularizar, en la medida de lo posible, el régimen del río Segura y el de sus principales afluentes, “aplicando las aguas y los tarquines de sus avenidas al riego y mejora de sus valles”. Estos objetivos fueron recogidos por el *Plan Nacional de Obras Hidráulicas* de 1902. Sin embargo, el principio de aprovechamiento integral de la cuenca de un río principal no apareció en la política hidráulica hasta la creación de las Confederaciones en 1926. En lo sucesivo, la del Segura se convirtió en el principal organismo regulador de las aguas de esta cuenca.

La región de Murcia experimentó durante el siglo

XX una importantísima ampliación de la superficie regada, respecto a las cifras de finales de la centuria anterior: en 1877 las hectáreas puestas en regadío eran aproximadamente unas 45.827, en 1933 la cifra ascendió a 49.883 y a finales de la década de los cincuenta la extensión regada era de 59.443. Véase Tablas 2 y 3. Esta expansión sólo fue posible gracias a la puesta en marcha de una política hidráulica integral, que abarcaba la construcción de pantanos, canales y diversas obras de regulación y mejora de los regadíos, y a la instalación de numerosos motores de elevación a lo largo de todo el cauce del Segura.

Tabla 2
Superficie regable por zonas en la provincia de Murcia, 1933

| ZONAS | HECTÁREAS |
|---------------------|-----------|
| Río Moratalla | 2.987 |
| Río Argos | 2.404 |
| Río Quípar | 1.066 |
| Río Mula | 3.956 |
| Río Guadalentín | 19.170 |
| Rambla de Santomera | 180 |
| Río Chicano | 549 |
| Río Segura | 19.567 |
| TOTAL | 49.883 |

Fuente: E. Arévalo (1933), *Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Cuenca del Segura, Murcia*.

Tabla 3
Superficie regable por zonas en la provincia de Murcia, 1956

| ZONAS | HECTÁREAS |
|--------------------------------|-----------|
| Río Argos y Campo de Caravaca | 5.154 |
| Río Segura | 26.538 |
| Huerta de Mula | 2.140 |
| Lorca | 12.000 |
| Valle Inferior del Guadalentín | 9.000 |
| Campo de Cartagena | 3.400 |
| Jumilla y Yecla | 1.211 |
| TOTAL | 59.443 |

Fuente: Comité Español de Rigos y Drenajes (1956), *Los riegos en España. Datos para su estudio, Madrid*.

En efecto, la mayor parte del incremento del regadío se debió a la instalación de motores para el riego. Si en los primeros años del siglo XX la superficie irrigada por este procedimiento en la cuenca del Segura era de poco más de 395 hectáreas, en 1931 la extensión dominada mediante estos artefactos era de más de 22.573 hectáreas para toda la cuenca. En cuanto a la provincia de Murcia, la superficie irrigada por este procedimiento en 1933 era de 5.622 hectáreas (Tabla 4), mientras que la extensión regada por norias sólo era de 1.047 hectáreas. Al mismo tiempo, la zona regada con agua subterránea se iba ensanchando cada vez más (Tabla 5), el mayor perfeccionamiento de la técnica de sondeo permitía efectuar taladros con relativa facilidad.

Tabla 4
Riegos con agua elevada por motores, 1933

| Municipios | Riego complementario | Riego permanente | Total |
|--------------------|----------------------|------------------|-------|
| Abarán | - | 908 | 908 |
| Albudeite | - | 1 | 1 |
| Alcantarilla | - | 33 | 33 |
| Alguazas | - | 324 | 324 |
| Archena | - | 759 | 759 |
| Beniel | 195 | 11 | 207 |
| Blanca | - | 202 | 202 |
| Calasparra | - | 30 | 30 |
| Ceutí | - | 258 | 258 |
| Cieza | 18 | 196 | 214 |
| Lorquí | - | 306 | 306 |
| Molina | 16 | 203 | 219 |
| Moratalla | - | 22 | 22 |
| Mula | 6 | 9 | 15 |
| Murcia | 392 | 679 | 1.071 |
| Ojós | - | 20 | 20 |
| Ricote | - | 20 | 20 |
| Torres de Cotillas | 393 | 669 | 1.062 |
| Ulea | - | 73 | 73 |
| Villanueva | - | 264 | 264 |
| TOTAL | 629 | 4.994 | 5.623 |

Fuente: E. Arévalo (1933), *Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Cuenca del Segura, Murcia*.

Tabla 5
Aprovechamientos con aguas subterráneas, 1933

| Zonas | Nº de pozos | Caudal (l/seg) |
|-----------|-------------|----------------|
| Lorca | 49 | 727 |
| Alhama | 59 | 436 |
| Mar Menor | 40 | 470 |
| Yecla | 33 | 391 |
| Jumilla | - | 300 |
| Mula | 33 | - |

Fuente: E. Arévalo (1933), *Plan Nacional de Obras Hidráulicas. Cuenca del Segura, Murcia*.

En otro orden de cosas, cabe señalar que los recursos hidráulicos en la provincia de Murcia conocieron en el siglo XX una segunda utilidad, la derivada de su aplicación industrial. Este tipo de aprovechamientos los encontramos diseminados por toda la provincia. En 1931 existían un total de 287 industrias en la provincia, que utilizaban para su funcionamiento un total aproxi-

mado de 38.212 H.P. Destacaban por su número los diferentes tipos de molinos (arrocero, harinero, yesero y de pimentón); le seguían en importancia las centrales eléctricas, que eran las que mayor cantidad de energía utilizaban –siendo las mayores instalaciones de este tipo la de “Cañaverosa” en Calasparra y la del “Solvente” en Ojós–; los otros aprovechamientos eran prácticamente testimoniales: batanes, fábricas de hielo, almazaras, serrerías, talleres metalúrgicos, fábricas de hilados, sombrerías, fábricas de pólvora y de harina.

La labor de la Confederación del Segura en el transcurso del siglo XX supuso una ampliación de los recursos hidráulicos sin precedentes en la historia de la cuenca. Las obras de regulación de las aguas superficiales se sucedieron en el transcurso del siglo –como puede apreciarse en la Tabla 6–, quedando prácticamente finalizadas con la construcción de los embalses de Camarillas y Cenajo en 1960.

Tabla 6
Embalses de la cuenca del Segura

| Embalse | Año finalización | Río | Municipio | Volumen | Destino |
|---------------|------------------|-------------|------------------|---------|---------------------|
| Valdeinfierno | 1806 | Luchena | Lorca | 25 | Riegos y avenidas |
| Puentes | 1884 | Guadalentín | Lorca | 13 | Riegos y avenidas |
| Alfonso XIII | 1916 | Quípar | Calasparra | 31 | Riegos y avenidas |
| Talave | 1918 | Mundo | Liétor | 42 | Riegos y energía |
| Almadenes | 1925 | Segura | Cieza | 0,2 | Energía |
| La Cierva | 1929 | Mula | Mula | 7 | Riegos |
| Fuensanta | 1932 | Segura | Yeste | 223 | Riegos |
| Taibilla | 1942 | Taibilla | Yetas | 0,3 | Abastecimiento |
| Anchuricas | 1957 | Segura | Santiago Espada | 8 | Energía |
| La Noria | 1959 | Zumeta | Santiago Espada | 1 | Energía |
| Camarillas | 1960 | Mundo | Hellín | 35 | Riegos |
| Cenajo | 1960 | Segura | Hellín/Moratalla | 472 | Riegos y avenidas |
| Santomera | 1965 | Santomera | Santomera | 26 | Riegos y avenidas |
| Argos | 1970 | Argos | Cehégín | 13 | Riegos |
| Taibilla | 1973 | Taibilla | Yetas | 10 | Abastecimientos |
| La Pedrera | 1973 | Alcoriza | Orihuela | 250 | Riegos y abastecim. |
| Ojós | 1975 | Segura | Ojós/Blanca | 4 | Derivación |
| Mayés | 1976 | Mayés | Ojós | 1,3 | Riegos |

Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura.

El conjunto de las obras de regulación de la cuenca hizo necesaria una nueva ordenación de los regadíos, que quedó recogida en el Decreto de 25 de abril de 1953. Con él, el Estado reguló el destino de los nuevos recursos –producto de la ampliación– estableciendo una gradación de preferencias, que discriminaba los regadíos tradicionales de aquellos que estaban en trance de ser regularizados, para en último lugar atender a los secanos. La nueva ordenación de los regadíos puede verse en la Tabla 7.

restringida al problema del abastecimiento, sino como un factor importante en el marco de los recursos hídricos totales. Las causas próximas del desarrollo de la explotación de nuestras aguas subterráneas se encuentran en el fuerte crecimiento económico experimentado por esta región durante la década de los sesenta. En aquellos momentos, y más exactamente a partir de 1965, se produjo un fuerte incremento en la captación de recursos subterráneos, que aún no ha terminado, cuyo uso está destinado principalmente a la agricultura.

Tabla 7
Regulación de los regadíos según el Decreto de 1953, (en hectáreas)

| | Regadíos tradicionales | Regadíos en trance de legislación | Nuevos regadíos | Totales | Volúmenes máximos que corresponden (Hm³/año) |
|------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------|---------|--|
| Zona Alta | 6.500 | 5.000 | 4.500 | 16.000 | 113 |
| Zona Media | 12.200 | 1.300 | 4.500 | 18.000 | 148 |
| Total | 18.700 | 6.300 | 9.000 | 34.000 | 261 |

Fuente: Orden Ministerial de 25 de abril de 1953.

En 1964, con el comienzo de la aplicación del Decreto de 1953, la situación en la provincia con respecto a las aguas superficiales era la siguiente: los regadíos bien dotados y aquellos que sólo tenían problemas de carácter temporal sumaban una superficie de 36.052 hectáreas, mientras que las ampliaciones consecuencia de la nueva ordenación significaron un incremento de 18.295 hectáreas. Con la puesta en funcionamiento del complejo Camarillas-Cenajo, en 1960, quedaba prácticamente culminada la tarea de regulación de las aguas superficiales de la cuenca del Segura. En adelante, la expansión hidráulica vino condicionada por la explotación de dos nuevas fuentes de recursos: los hidrogeológicos y los externos provenientes del trasvase Tajo-Segura.

Las crecientes necesidades de agua, tanto para abastecimiento de población como para regadío o industria, y las insuficiencias de los recursos superficiales para satisfacerlas han obligado a considerar a las aguas subterráneas, no como una solución puntual y

ra. La iniciativa privada ha ido aumentando progresivamente su extracción hasta alcanzar volúmenes superiores a los 500 Hm³/año. El problema de las aguas subterráneas en esta región es la existencia de un déficit de 282 Hm³/año, que se extraen de la reserva (véase la Tabla 8). Este fenómeno, casi generalizado a todos los acuíferos, provoca el descenso continuado de los niveles de agua, ocasionalmente la salinización de las aguas, el encarecimiento del agua bombeada, la disminución de los caudales de explotación y, en ocasiones, la pérdida total del pozo, con la consiguiente destrucción de la riqueza agrícola generada. En esta situación se encuentran los sistemas acuíferos de Ascoy-Sopalmo, Valle del Guadalentín, Campo de Cartagena, Jumilla-Villena, Carche-Salinas, Quibas, La Paca, Santa-Yéchar y casi todos los existentes en la comarca Mazarrón-Águilas. Desde mediados de los sesenta hasta los ochenta, la superficie de regadío ha aumentado en un 60%, siendo precisamente a partir de los años sesenta cuando ese aumento se hizo más rápido, con

una media de 5.000 hectáreas/año. En 1983 la superficie irrigada por aguas subterráneas era de más de 107.000 hectáreas –más de la mitad con agua de reserva–, lo que representaba alrededor del 73% del regadío de la región murciana.

a superar lo previsto por la legislación. No obstante, la superficie beneficiada por el trasvase, a finales de los ochenta, se estimaba en unas sesenta mil hectáreas para la región de Murcia. En ellas se incluían tanto nuevos regadíos como redotación de regadíos defici-

Tabla 8
Explotación de recursos y reservas de agua subterránea en la provincia de Murcia

| Unidad hidrogeológica | Recursos renovables | Reservas explotables | Explotación (Hm³/año) | | |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|---------|
| | (Hm³/año) | (Hm³) | R. renovables | Reservas | Total |
| Prebético | 38-67 | 2.400-4.650 | 23-37 | 45-72 | 68-109 |
| Subbético | 70-91 | 700-1.000 | 46-63 | 5-6 | 51-69 |
| Cuaternario Guadalentín-Segura | 35-50 | 1.300-2.000 | 26-30 | 97-100 | 123-127 |
| Campo de Cartagena | 25-40 | 1.000-2.000 | 25-40 | 75-100 | 115-125 |
| Terciario Mula-Murcia | - | ¿ | 5-10 | 0 | 5-10 |
| Bético | ¿ | - | ¿ | ¿ | 25-30 |
| Total | 168-248 | 5.400-9.650 | 125-217 | 222-278 | 387-470 |

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España.

Por su parte, el trasvase Tajo-Segura constituye la infraestructura que posibilita la dotación externa de agua. El trasvase fue diseñado para transferir en una primera fase hasta 600 Hm³ y 400 Hm³ más en la segunda; es decir, un total de 1.000 Hm³. Durante la primera de las fases reseñadas, la distribución teórica de los recursos sería la siguiente: 400 Hm³ para riegos, 110 para abastecimientos y 90 de pérdidas. En cuanto al regadío de la región de Murcia, su distribución por zonas era la siguiente:

- Vega Alta y Media del Segura 65 Hm³/año
- Regadíos de Mula y su comarca 8 Hm³/año
- Lorca y Valle del Guadalentín 65 Hm³/año
- Campo de Cartagena 122 Hm³/año

El volumen efectivamente recibido por la cuenca del Segura ha sido sustancialmente inferior a la cantidad estipulada para la primera fase y, además, los recursos destinados al abastecimiento de la población han seguido una tendencia creciente, llegando incluso

rios. Por zonas, la superficie beneficiada por el trasvase era la siguiente:

- Zona Primera. 2.000 Has
- Zona Segunda 3.500 Has
- Zona Tercera 4.600 Has
- Campo de Cartagena 22.000 Has
- Yéchar 600 Has
- Mula y Pliego 2.000 Has
- Lorca 11.500 Has
- Valle del Guadalentín 10.000 Has

En síntesis, el regadío ha experimentado un fuerte crecimiento desde la década de los sesenta, como consecuencia primero de la regulación de las aguas superficiales y, más tarde, de la explotación de las aguas subterráneas y de los recursos trasvasados desde el Tajo a partir de 1979. La distribución municipal del regadío para mediados de los años ochenta puede verse en la Tabla 9.

Tabla 9
Distribución por municipios del regadío en Murcia, 1986

| MUNICIPIO | HECTÁREAS | MUNICIPIO | HECTÁREAS |
|----------------|-----------|-----------------------|----------------|
| Abanilla | 1.230 | Lorca | 22.187 |
| Abarán | 2.610 | Lorquí | 1.061 |
| Águilas | 2.017 | Mazarrón | 3.862 |
| Albudeite | 432 | Molina | 2.091 |
| Alcantarilla | 215 | Moratalla | 2.547 |
| Aledo | 354 | Mula | 2.959 |
| Alguazas | 1.061 | Murcia | 30.882 |
| Alhama | 8.000 | Ojós | 760 |
| Archena | 1.386 | Pliego | 901 |
| Beniel | 909 | Puerto Lumbreras | 4.000 |
| Blanca | 1.908 | Ricote | 217 |
| Bullas | 267 | San Javier | 2.733 |
| Calasparra | 2.530 | San Pedro del Pinatar | 1.426 |
| Campos del Río | 483 | Torre Pacheco | 8.500 |
| Caravaca | 6.499 | Torres de Cotillas | 1.890 |
| Cartagena | 11.284 | Totana | 10.133 |
| Cehegín | 3.134 | Ulea | 1.053 |
| Ceutí | 926 | La Unión | 292 |
| Cieza | 8.725 | Villanueva | 1.053 |
| Fortuna | 2.111 | Yecla | 4.076 |
| Fuente Álamo | 1.228 | Santomera | 2.475 |
| Jumilla | 6.252 | Los Alcázares | - |
| Librilla | 3.037 | TOTAL | 171.696 |

Fuente: CAAM (1986), Datos y series estadísticas, Murcia.

El agua sucia en el mundo romano

■ **Antonio Méndez Ondina**
Juan Carlos Hernández del Pozo
M^a. Carmen Rubio Gámez

Departamento de Ingeniería Civil
E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad de Granada

La evacuación de las aguas residuales, ha sido un problema al que han tenido que enfrentarse todas las civilizaciones desde la antigüedad.

Este documento recoge algunas de las distintas realizaciones de infraestructuras sanitarias llevadas a cabo por la civilización romana en sus asentamientos, incluyendo aspectos que competen no sólo a los materiales utilizados en sus construcciones, sino también a la geometría, pendientes, secciones, procesos constructivos, así como la normativa y legislación con la que ya contaban para el proyecto y ejecución de la red de saneamiento.

El agua sucia en el mundo romano

De todos es conocido la importancia del agua para la vida de los pueblos desde la antigüedad, pero no tanto la importancia que éstos le daban a las aguas residuales. Los romanos fueron los verdaderos maestros en este campo, y con esto no queremos decir que antes que ellos no se hiciera nada, pues los romanos aprendieron la preocupación que ya se tenía por la evacuación de estas aguas de palacios.

Así lo hicieron los asirios y la civilización minoica, que resuelve graves problemas de drenaje y evacuación de aguas tanto procedentes de lluvia como de excedentes de consumo humano, de hecho en el palacio de Minos en Knosos se pueden ver y analizar un complejo sistema de evacuación de aguas con la utilización de tubos cerámicos enchufados unos en otros y con tratamiento de las juntas, así como el complicado trazado que obliga a ejecutar numerosas curvas y salvar diferencias de nivel con tramos en contra pendiente. También los egipcios dispusieron de elementos sanitarios en sus casas.

Esto nos hace pensar que esta civilización ya tenía conocimiento de los vasos comunicantes y por tanto los principios de funcionamiento del sifón, conviene señalar la disposición de dichos tubos de una especie de asas que permite rigidizar la conducción en los tramos en curva hasta que los morteros utilizados en las juntas fraguaran y aseguraran la estanqueidad de la conducción.

Las formas de las juntas del tipo enchufe evitan la formación de remolinos que favorecerían la sedimentación de sólidos en suspensión, que producirían un

aterramiento de la conducción, con la consiguiente pérdida de sección y por tanto de capacidad hidráulica, así como la producción de olores.

La existencia dentro del palacio de Minos de un dren rectangular de $0.78 * 0.38$ m conformado por losas de caliza que forman los hastiales que se apoyan en una losa del mismo material que hace de solera y cubierta por otras de gran tamaño alrededor del metro de longitud y 20 cm de espesor, recoge las aguas pluviales, y las procedentes de letrinas; se disponen depósitos intermedios de agua que aseguren una reserva para posteriores usos, y dilución de las aguas negras.

Otro elemento interesante es la existencia de pozos ciegos a los cuales llegan conducciones procedentes de distintos lugares del palacio y que cumplen la misión de los modernos pozos sépticos, encauzando el agua de salida por una conducción, que al rebosar libremente al exterior actúa de aliviadero.

En Atenas es importante citar la red del ágora que recogía las aguas pluviales de las laderas orientales del valle entre Pnix y la colina de las Ninfas y entre ésta y la Kolonos Agoraius.

Los griegos solucionaban su problema de saneamiento con la utilización de canales rectangulares cerrados. También se han encontrado en Atenas cloacas, siempre de forma rectangular, con tapas en forma de losa, con la disposición de una manera sistemática de pozos de registro de gran profundidad, que hace pensar en sistemas de construcción de zanjas bastante avanzados. Existen también depósitos o cámaras que se disponen en zonas donde afluyen varios colectores, que tienen en las paredes de los mismos una serie de aberturas ejecutadas con ladrillo que logran dividir el desagüe en varias zonas, asegurando de esa forma una menor erosión del terreno por donde discurren las aguas hasta su vertido a un cauce natural, o en toros casos al mar, o a su utilización en riegos de zonas próximas, son verdaderas cámaras aliviaderos de las conducciones, y cabría pensar en su utilización para la limpieza.

De igual forma hay conducciones para saneamien-

to de casas donde se disponía de letrina y baños independientes, aunque no de una forma generalizada, sino que son lugares de residencia de las clases sociales más adineradas.

La estructura principal del saneamiento romano corresponde a una red de colectores que tiene como misión fundamental recoger las aguas usadas de la población y eliminarlas de sus proximidades lo más rápido posible.

La condición de una pronta eliminación establece una limitación respecto a la situación de los propios asentamientos romanos: proximidad de cursos de agua a la que conducir esos excedentes hídricos y asegurar su eliminación y dilución en el medio receptor, bien sea fluvial o marítimo.

También se establecen una serie de normas que es preciso observar para decidir la ubicación o no del núcleo urbano, llaman la atención las relacionadas con una situación sanitaria del entorno, que lleva a analizar el estado de determinadas especies que viven en la zona, así como la no existencia de charcos de aguas estancadas que son causas de la posible aparición de enfermedades en la población de la ciudad que se va a construir, como el estado de salubridad de aguas en pozos situados en las proximidades del lugar.

En los trabajos de campo previo ya se recogen las concepciones que el mundo romano tiene de la disposición de las ciudades y que se basan en diseño ortogonal de los viales, sobre todo para ciudades de nueva construcción. Estos condicionantes urbanísticos quedan reflejados en la disposición de los conductos que conforman la red de saneamiento, que se estructura en base a una serie de colectores que forman una red ortogonal ramificada de acuerdo con la disposición de los viales. La sección de los conductos no corresponde con la importancia del vial sino con el caudal que deben transportar y con una accesibilidad que permita su mantenimiento y correcto funcionamiento, bien sea con secciones visitables, o con una ubicación más superficial que permita el acceso directo al conducto con el levantamiento de la cubri-

ción del colector que forma parte de la estructura del vial por el cual discurre.



Foto 1. Imbornal Romano. Itálica.

También incorporan a la red de saneamiento el agua de pluviales. Para ello disponen superficialmente las pendientes precisas en los viales y en los sentidos correctos que aseguran la llegada de dichas aguas a la red de cloacas a través de imbornales en los laterales junto a los bordillos que delimitan el vial y la acera.



Foto 2. Situación de arqueta en vial. Itálica.

Los romanos tienen conducciones de gran importancia como la denominada Cloaca Máxima de Roma. Su construcción data desde 200 a. de C. Siendo una de las bases del desarrollo de la ciudad, su ejecución se realizó en diversas etapas y con diferentes técnicas y materiales; de grandiosas dimensiones, la embocadura es una bóveda de más de 5 m de diámetro formada por bloques de roca constituyendo una triple rosca de juntas alternadas, la sección ni la forma son constantes respondiendo a distintas épocas y a diferentes procedimientos constructivos.

Pero centrándonos en la península, tienen realizaciones tan importantes como en la Baetica, en la que vamos a destacar aspectos significativos de Andalucía que tenía en aquella época casi 100 asentamientos (más que la Tarraconensis y Lusitania juntas) que tenían cinco veces más de superficie (por algo sería).

Dentro de Andalucía, los asentamientos más significativos en cuanto a Ingeniería Sanitaria se refiere:

CARTEIA (Cádiz) donde podemos observar colectores tipo bóveda y de falsa bóveda con dos *tegulae* (tejas planas) que servían de encofrado para el “opus caementicium”.

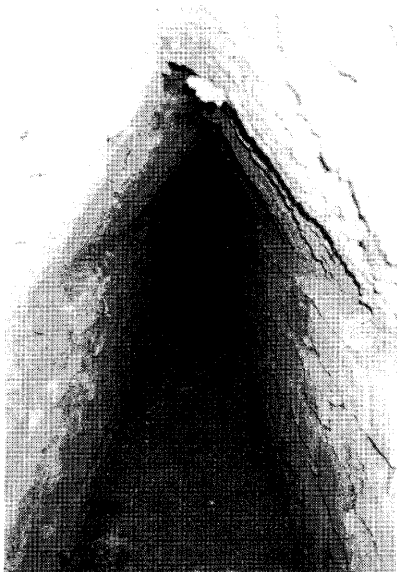


Foto 3. Colectores. Carteia. A) Interior de colector no visitable. B) Detalle embocadura de colector donde han desaparecido las Tegulae.

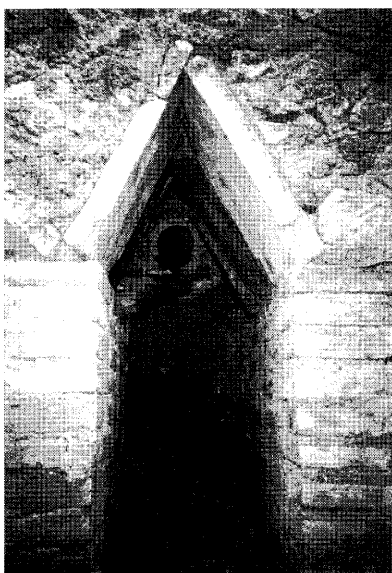


Foto 4. Colectores. Itálica. A) Colector no visitable en el Anfiteatro. B) Detalle de Tegulae utilizada como encofrado perdido en colector no visitable.

ITÁLICA (Sevilla) con dos grandes emisarios ubicados en las vaguadas que desembocan en el río y a éstos se incorpora la red secundaria ramificada. Los emisarios son visitables, no siendo así la red de colectores secundaria, en donde accedían no sólo las aguas negras sino también las procedentes de lluvia que se introducían a través de imbornales circulares. Todos los colectores tenían prevista su explotación siendo posible en los pequeños por estar cubiertos mediante pequeñas losas rectangulares desmontables.

Las características topográficas de Itálica obligaron

a construir colectores con desniveles importantes y como al tener limitada las velocidades del agua (tanto por defecto como por exceso, pues la primera ocasionaba sedimentaciones que eran foco de olores y vectores transmisores de enfermedades y la segunda erosionaba los colectores destruyéndolos) construyeron rápidos, no sólo como el comentado anteriormente, sino también tipo gola e incluso arquetas de cambio de nivel.

Es aquí donde se denota la importancia que las infraestructuras sanitarias tiene para los romanos pues el trazado de éstas, obligado a veces por los desniveles hizo que la red de viales de Itálica no fuese ortogonal en algunos sitios, y esto es debido a que los viales se colocaban encima del alcantarillado guardando unos 40 cm de recubrimiento en la clave.

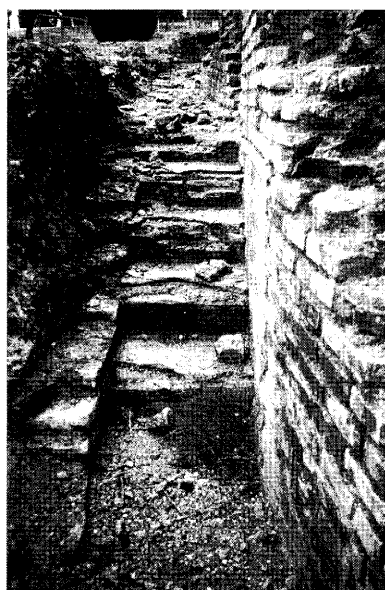


Foto 5. Rápido en cascada, donde se aprecia la diferencia entre el material utilizado en el escalonado y el resto del colector.

BAELO (Cádiz) tiene los colectores barriendo la ciudad de Norte a Sur a los que acceden las distintas acometidas, se debe destacar las de piletas y, además, en algunas quedan restos de tuberías de plomo. Este tipo de desagües buscaba, sin duda la dilución de las aguas negras de las viviendas que tenían su acometida a 2,25 m de la fachada, mediante pozos circulares de 20 cm de diámetro, provistos de tapas de piedra ostionera en muchos casos.

El emisario último finalizaba con el vertido al mar construido con tubería, con “opus caementicium” y es conveniente apuntar sus dimensiones con 0,8 y 0,5 de diámetros exterior e interior.

ASIDO (Cádiz) tiene restos de cloacas visitables de gran importancia construidas con sillares y lajas en la zona superior e inferior, estando cubiertos los hastiales con “opus signinum” que lo utilizaban para impermeabilizar.

Queremos reflejar aquí el cuidado medioambiental dado que se preocupaban de no contaminar por fuera del colector, evitando filtraciones para preservar, así, las aguas subterráneas de la zona.

En algunos colectores es preciso llamar la atención de la existencia de salientes en la parte superior de los hastiales que permitían la colocación de estructuras auxiliares par la ejecución de la bóveda. En esta ciudad también existe otro rápido donde eligieron las piezas de la solera.

Ha llegado el momento de realizar un breve resumen de las obras sanitarias de los romanos, y consideramos oportuno comenzar por el proceso constructivo que tenía su inicio con el levantamiento topográfico mediante diversos instrumentos de nivelación, siendo la “groma” y el “corobate” los más usados que se utilizaban para marcar las calles principales: *cardo maximus* (N-S) y el *decumanus maximus* (E-O); calculaban el recurso hídrico y, conociendo las necesidades, fijaban la dimensión del asentamiento. Para ello no sólo contabilizaban los caudales de abastecimiento de las fuentes y baños, sino también un sobrante que utilizaban para la dilución de la contaminación.

A partir de esto cálculos disponían los espacios públicos. Por lo tanto tenían perfectos conocimientos de la ordenación del territorio y del urbanismo.

Así mismo replanteaban los colectores y fijaban la excavación, que se realizaba a mano (pico y pala) y en caso de ser profundas, utilizaban entibaciones de madera; después de rasanteada la zanja, colocaban la solera con el material adecuado, y así aseguran la minimización del desgaste; siempre con especial

atención a las pendientes que venían fijadas por las velocidades.

Construían secciones visitables, o no visitables, y dependiendo de la zona utilizaban ladrillos, sillería o “opus caementicium”. Se preocupaban de la impermeabilización y del régimen hidráulico de los colectores utilizando el “opus signinum”, por ejemplo con la construcción de boceles.

Estos dos conglomerados estaban reglamentados (Vitrubio y Faventino) con 2 ó 2,5 partes de arena por una de cal a la que se añadía trozos de sílice o piedra de toba para el *opus caementicium* y además de tener normalizada la arena utilizada, realizaban pruebas de calidad tal y como hoy día.

Por otro lado cabe señalar la legislación en el campo del agua: con concesiones a particulares, y con las expropiaciones por donde tuviesen su paso las canalizaciones para abastecimiento.

Con lo aquí expuesto, vemos nuestra descendencia romana en planificación urbanística en aspectos constructivos y en legislación hidráulica, con la preocupación del dominio público y del medioambiente mediante la dilución de las aguas negras. Todo ello hacía que sus obras de saneamiento estuviesen bien ejecutadas.



Foto 6. Urinario. Itálica.

La gestión de acuíferos en regiones áridas y semiáridas

■ **Melchor Senent Alonso**

Facultad de Biología. Departamento de Ecología e Hidrología
Área de Hidrología. Universidad de Murcia

A pesar del desarrollo experimentado por la hidrología en los últimos treinta años, aún no han calado en la sociedad española los conceptos básicos que rigen la correcta explotación de las aguas subterráneas.

Este artículo pretende dar a conocer los conceptos de recursos y reservas en aguas subterráneas y las alternativas de explotación que se presentan ante una utilización racional de los acuíferos subterráneos. En definitiva, se ofrecen algunas ideas para orientar una adecuada gestión de las aguas subterráneas.

Según el diccionario de la Real Academia Española, gestión es la acción y efecto de gestionar, es decir hacer diligencias conducentes al logro de un negocio o de un deseo cualquiera. Por lo tanto, podríamos decir que gestión de recursos hídricos es la totalidad de tareas requeridas para abastecer de agua, y de bienes y de servicios en relación con el agua. La gestión de recursos de agua es una función de producción que transforma las características de cantidad, de calidad, de situación y de tiempo de los productos deseados: agua para riego, energía hidroeléctrica, abastecimiento de agua potable, ocio, protección de ecosistemas, etc. Todo ello bajo las limitaciones que impone la política

hidráulica del gobierno, que se define mediante la Ley de Aguas y los diferentes planes hidrológicos de cuenca que se promulgarán con carácter de ley.

Los hombres han aprendido empíricamente a investigar y captar las aguas subterráneas después de milenios. La noción de recurso en aguas subterráneas es una idea moderna, que ha nacido de la constatación de que las obras de captación de aguas subterráneas tenían, en ocasiones, unos rendimientos (caudal por unidad de depresión) decrecientes en el tiempo o bien provocaban efectos perjudiciales sobre otras captaciones, manantiales o ríos. Estos efectos han sido frecuentemente mal interpretados y, a menudo, han llevado a que se juzguen como excesivas a estas explotaciones (sobreexplotación). Ello ha conducido a la necesidad de conocer y evaluar los recursos, concebidos como un máximo a no rebasar; de aquí la idea de realizar una explotación a “caudal seguro” (“Safe yield” de los anglosajones).

La noción de recurso se desarrolló rápidamente al plantearse la necesidad de proyectar y planificar una explotación de aguas subterráneas que evitase los posibles efectos negativos que se habían detectado. Esto

parece ahora todavía más evidente si tenemos en cuenta que las aguas subterráneas se conciben como almacenadas en auténticos embalses subterráneos donde todos los usuarios captan un mismo “depósito”. Las aguas subterráneas son bajo este aspecto un recurso colectivo, cuya explotación no puede estar sujeta a decisiones individuales sin engendrar conflictos entre usuarios, que requieren un arbitraje y donde su carácter limitado hace deseable una explotación óptima que proteja el interés común de todos los usuarios y el general de toda la población.

De aquí la idea de evaluar los recursos como oferta y confrontarlos con las demandas.

Sin embargo, lo que complica las cosas es que los recursos en aguas subterráneas son a la vez:

- *Recursos renovables*, como las aguas superficiales, y

- *Recursos no renovables*, como otros recursos del subsuelo.

Además, en la práctica es imposible captar los primeros sin extraer una parte de los segundos (al menos local o temporalmente). Mientras la demanda sea muy pequeña en relación a la oferta, no hay problema y no es necesario evaluar los recursos con precisión. La necesidad de esta evaluación aparece como obligatoria cuando es necesario ajustar la demanda a la oferta.

Los recursos, que no pueden confundirse con la productividad puntual de las obras de explotación, son siempre una noción global, a diferentes escalas –desde unos pocos km² de un pequeño acuífero a más de un millón de km² de una gran cuenca sedimentaria–, pero nunca puntual.

También, en todos los casos, es necesario definir un marco espacial al que referir los recursos. Este marco no es otro que el sistema acuífero; es decir, un dominio continuo circunscrito por límites que obstaculizan los efectos provocados por acciones naturales o artificiales (alimentación o bombeo de agua), e impiden que puedan propagarse más allá de estos límites, a escala de tiempo definido. Dicho de otra forma, sistema acuífero es un sistema físico, definido en el espacio y finito

en el tiempo, en el cual las reacciones a las acciones proyectadas son previsibles y pueden ser evaluadas.

Movilizar los recursos en aguas subterráneas implica, en efecto, influenciar el sistema en condiciones técnicamente posibles y económicamente aceptables. Evaluar estos recursos explotables consistirá en investigar cómo se puede extraer la máxima cantidad de agua subterránea de un sistema dado, respetando todas las limitaciones impuestas.

Durante mucho tiempo, la hidrogeología aplicada se ha limitado a perseguir objetivos de investigación para la ubicación de obras de captación, pero en la actualidad se trata más bien de la evaluación de los recursos hídricos subterráneos explotables. En la consecución de este objetivo tiene un lugar esencial el concepto moderno de “sistema acuífero”, también denominado en España “unidad hidrogeológica”.

La definición y análisis del comportamiento de los sistemas acuíferos realizado por los hidrogeólogos se denomina modernamente “análisis de sistemas acuíferos”. Esta denominación se emplea para designar un lenguaje común que pretende su descripción más explícita y hacer más racional el método de análisis de sistemas acuíferos y de las modelizaciones que le siguen. Analizar un sistema acuífero real consiste en recoger y formular las informaciones que permitan su modelización. Para ello es necesario elaborar un modelo conceptual, una representación lógica que esquematice la realidad, lo que será materializable en un modelo de simulación, analógico o numérico, sobre el que se podrá superponer las impulsiones calculadas o simuladas para conocer sus efectos.

El modelo de simulación es una herramienta imprescindible para la gestión del sistema acuífero; sin embargo, esto no es suficiente para abordar toda alternativa de explotación del acuífero. Es necesario conocer las limitaciones que pueden condicionar las opciones de explotación del sistema. Así podemos distinguir:

- *Limitaciones físicas*: Imposibilidad material de

abatir el nivel piezométrico por debajo de un cierto mínimo que permita un bombeo en condiciones aceptables o también la prevención de una intrusión salina.

– *Limitaciones económicas*: Necesidad de mantener el coste de producción por debajo de un valor aceptable.

– *Limitaciones socioeconómicas y medio ambientales*: Aquellas que pesan sobre el proyecto y que plantean los representantes de los intereses generales de la sociedad. Por ejemplo: no afectar excesivamente a los materiales o la necesidad de preservar la calidad del recurso impidiendo la entrada de agua de calidad inferior (a partir de aguas superficiales o a partir de otros acuíferos) o bien la necesidad de mantener la escurriencia superficial de ríos y/o de superficies piezométricas de zonas húmedas de interés ecológico.

Concepto de recursos y reservas de agua subterránea

Todo sistema acuífero constituye a la vez:

– Un medio conductor atravesado por un flujo de agua que está mantenido por los aportes generalmente discontinuos e irregulares de la alimentación (lluvia, ríos, etc.). Este flujo puede ser muy pequeño cuando el acuífero esté poco alimentado, el agua está entonces casi estancada.

– Un almacén que contiene un stock de agua o reserva, variable cuando el acuífero es libre o casi constante cuando el manto es cautivo.

La importancia relativa del flujo y del stock es muy irregular según las condiciones hidrogeológicas (extensión y estructura del acuífero) y climáticas (factores que condicionan la alimentación). La relación entre el volumen medio de alimentación durante un período de referencia (el año por lo general) frente al volumen medio total del agua almacenada, se denomina tasa de renovación. Acuíferos libres de gran superficie pueden ser muy renovables en zonas húmedas con débil stock y fuerte alimentación. Por el contrario, acuíferos cautivos de grandes dimensiones pueden tener poca alimentación, incluso en zonas húmedas y,

mucho más en zonas áridas; en estos casos se tiene un gran stock con un flujo muy pequeño, es decir, se registra sólo una pequeña tasa de renovación del agua del acuífero.

El flujo y la reserva contribuyen a formar los recursos de agua subterránea:

– *Recurso renovable o recurso propiamente dicho*, el que procede de la captación (derivación) del flujo natural y de la toma de las emergencias naturales.

– *Recursos no renovables o reserva*, el que procede de la reserva provocando un flujo artificial temporal, en tanto dure la explotación.

Estas dos formas de recursos de aguas subterráneas no son independientes ni disociables en la práctica. No se puede extraer una parte importante del flujo medio sin transformar el reparto del flujo global del acuífero; es necesario desplazar, en favor de las captaciones, una parte de los caudales naturales de las emergencias naturales y también durante el cierto período de tiempo (normalmente meses de verano) se hace descender la superficie piezométrica (explotación temporal de reservas). De esta forma se consigue extraer todos o casi todos los recursos renovables del acuífero.

Cuando la alimentación del acuífero es despreciable frente a sus reservas, como en los casos de las zonas áridas y semiáridas del Sureste de España, la explotación de las aguas subterráneas se plantea más como un desalmacenamiento que como una captación del recurso renovable. En tales circunstancias, la explotación de la reserva se realiza como si de un yacimiento minero o petrolífero se tratase.

Toda la reserva teórica de un acuífero (calculable como el volumen de roca saturada media, multiplicada por su porosidad eficaz) no puede ser asimilable a un stock explotable en la práctica, puesto que el descenso de los niveles de bombeo se sitúa a un nivel económico donde su explotación no es aceptable. De aquí nace el concepto de reserva explotable, concepto relativo, puesto que está sujeto a criterios técnico-económicos cambiantes.

En definitiva, se trata en los dos casos -recursos

renovables y recursos no renovables- de recursos finitos, que hay que tratar de no despilfarrar ni agotar. Por lo tanto, su gestión se justifica plenamente, pues toda gestión de un sistema acuífero conlleva una gestión de flujo y una gestión del stock, aunque en proporciones variables a lo largo de la explotación. Sin embargo, no pueden separarse la una de la otra. La gestión de la reserva no es sino una parte, unas veces primordial, otras veces accesoria, de la gestión del sistema.

Estrategias de explotación de aguas subterráneas

La estrategia para la explotación de aguas subterráneas suele estar sometida a la política hidráulica. Tres opciones principales se plantean normalmente:

Explotación parcial o total de los recursos renovables. En este caso, la explotación de reserva no es más que una condición necesaria, aunque temporal, para la extracción del recurso renovable.

Explotación temporal, voluntaria y controlada de las reservas, para hacer frente a unas demandas coyunturales superiores “explotaciones puente” o a unos períodos de excepcional escasez de recursos renovables o sequía. En todo caso, se plantea como una explotación a tiempo fijo, al cabo del cual se reducirá la explotación para volver a un régimen de reequilibrio que se conseguirá disminuyendo la explotación.

Explotación minera pura o explotación de reservas, totalmente o hasta que las condiciones de explotación se juzguen inaceptables (reservas explotables en términos económicos). Es necesario entonces fijar el tiempo y el caudal de explotación, de forma análoga a como se opera en la explotación de un yacimiento petrolífero.

Estas tres formas de explotación de aguas subterráneas tienen un denominador común; son alternativas deseadas y controladas. Pero en ocasiones se alcanzan unos objetivos no deseados; por ejemplo, descensos superiores a los previstos, intrusión de aguas marinas, subsidencias de terrenos, etc.; en este caso, se habla de sobreexplotación. La sobreexplotación debe entender-

se como una explotación “excesiva” en relación a la “prevista” o “programada”.

En concordancia con Margart (1982) es posible decir que saber si se deben explotar las reservas de agua subterráneas no es una cuestión metafísica o académica, objeto de discusión sobre la utilización por la humanidad de los recursos no renovables en general, sino que es una cuestión práctica a tratar en cada caso, en función de criterios específicos para cada situación, y revisable según la evolución de las condiciones económicas y de los medios tecnológicos. Sin embargo, parece útil hacer tres recomendaciones esenciales válidas en todos los casos de explotación de reservas de aguas subterráneas:

Una explotación de reservas debe ser consciente y deliberada. Realizarla involuntariamente, sin control, ignorando que tiene un final a plazo fijo, entraña grandes inconvenientes (conflictos entre usuarios y daños colectivos importantes).

Una explotación de reservas debe ser controlada y dirigida. Ello implica una estructura de control técnico y una organización de gestión adecuada, y dotada de los necesarios poderes de decisión. La gestión “comunitaria”, de un acuífero (contemplada por la vigente Ley de Aguas en España) explotado por intereses económicos (con frecuencia numerosos y diferentes), exige el arbitraje de la Administración, que deberá poner los medios para recoger y conservar los datos sobre los caudales de explotación y de los niveles, todo ello como elementos imprescindibles para ordenar la gestión del acuífero.

La explotación de un recurso de agua no renovable, debe integrarse en una política general del agua (planificación hidrológica), que a su vez esté subordinada a la política económica general del país.

En resumen, una explotación de reservas de agua subterránea, convenientemente programada, podría en muchos casos permitir, no retardar, el desarrollo de diversas actividades económicas, dando tiempo para estudiar y proyectar mejor las soluciones definitivas. De este modo, se retrasan y se ajustan mejor las fuer-

tes inversiones (presas, acueductos, etc.) que soportan mal las economías débiles.

La explotación minera de las aguas subterráneas se constituyen así en un factor de despegue económico que no debe despreciarse allí donde esta alternativa se presenta. Impedir este tipo de explotación bajo pretexto de que se trata de recursos no renovables sería tanto como recomendar la no explotación de los yacimientos mineros o petrolíferos. El tiempo ganado deberá ser aprovechado para educar a los utilizadores y preparar una economía del agua que elimine los despilfarros y maximice los reciclajes y/o las reutilizaciones.

La sobreexplotación de acuíferos

Ligado a la alternativa de explotación de reservas aparece el término sobreexplotación, concepto todavía muy discutido que es interpretado normalmente como una explotación no deseada de reservas, excesiva en relación con la explotación que se considera normal (equilibrio entre extracciones y alimentación).

La cuestión es saber qué es “excesivo” y qué es “normal” en la explotación de un acuífero subterráneo. En general, se entiende por “normal” una explotación que preserve el equilibrio del acuífero, es decir, una igualdad entre la extracción (E) y la alimentación media (Q). Esto no es tan simple.

Un acuífero puede ser sobreexplotado localmente, incluso si $E < Q$, si las extracciones se concentran y producen efectos no deseados como rendimientos decrecientes en las captaciones, pérdida de la calidad, afección a las aguas de superficie, subsidencias de terrenos, etc. Por el contrario, todo desequilibrio $E > Q$ no produce necesariamente una explotación abusiva, si ésta provoca una alimentación inducida que aumenta las entradas del acuífero o bien el volumen de reservas sea tan grande que sus efectos son pequeños y tan sólo apreciables después de un gran período de tiempo.

Sobreexplotar un acuífero será la explotación en régimen de desequilibrio, sin embargo, el concepto tiene un sentido más complejo que el de extraer más

agua que su alimentación media y agotar sus reservas. Es posible explotar las aguas subterráneas determinando los efectos negativos que se producirían e imponer los límites. Definir estos límites y su flexibilidad es tan importante como evaluar el caudal medio anual de un acuífero para ajustar mejor su explotación.

Castany y Margat (1971) en su Diccionario de Hidrogeología definen la sobreexplotación como la *“Explotación de cantidades de agua subterránea excesiva, en relación a una norma fijada, en función de diversas limitaciones y particularmente en relación al caudal de producción asegurado, ligado a la conservación del equilibrio a más o menos largo plazo. Concepto próximo al de explotación de la reserva (over-development, overdraft o exhaust’ on de los autores anglosajones)”*.

La utilización de aguas en España tuvo un floreciente desarrollo a partir de 1965, favorecida por el importante despegue económicos de los años sesenta y por la ausencia de recursos superficiales en amplias zonas del país —costa mediterránea y territorios insulares— donde la climatología y la tradición agrícola de sus hombres hacía sumamente rentable la creación de nuevos regadíos. La explotación de acuíferos se presenta así como un factor de desarrollo económico y social en amplias zonas deprimidas del país.

De esta forma, la iniciativa privada y las aguas subterráneas constituyeron una forma de sustituir la incapacidad del Estado para satisfacer una demanda que se presentaba con urgencia, muy diversificada en el espacio y casi siempre en zonas con ausencia de recursos superficiales. La Administración, consciente de este “empuje” de los particulares, realizó la obra hidráulica más importante de España: el Trasvase Tajo-Segura, y planteó una política de trasvases como respuesta a los graves desequilibrios hidrológicos de la Península Ibérica.

Sin embargo, la ausencia de una legislación adecuada y la falta de planificación hidráulica y del territorio permitieron una explotación desordenada de aguas subterráneas, donde la Administración debería

haber sido el elemento moderador de la iniciativa privada.

La sobreexplotación de acuíferos en España es una consecuencia del desarrollo general del país y aunque está planteando actualmente problemas a la Administración Hidráulica, no debe verse únicamente con la perspectiva de los aspectos negativos que evidentemente tiene, sino que también debe sopesarse la riqueza creada y el desarrollo económico-social inducido. Este aspecto es especialmente medible en el Sureste español (Almería, Murcia, Alicante y Albacete).

Ante la importancia de este fenómeno en España, no cabe sino la adopción de medidas urgentes tendientes a corregir los efectos de la sobreexplotación de los acuíferos y que, en última instancia, tratarían de evitar el colapso económico de las regiones más afectadas y la desertización, inducida que se produciría.

Orientaciones para la gestión de reservas de aguas subterráneas

España es un país con muchas experiencias en la explotación de reservas de aguas subterráneas, lo que nos pone en condiciones de plantear algunas orientaciones de orden metodológico (evaluación de recursos) y de orden práctico (gestión de recursos).

Orientaciones para la evaluación de recursos

1. La evaluación de los recursos de las reservas subterráneas necesita no sólo de un buen conocimiento físico (hidrogeología) del acuífero sino también su “comportamiento dinámico”, es decir, su modo de reaccionar ante una explotación. Para ello, se necesita un modelo adecuado. No basta, como se ha hecho hasta ahora, con establecer un balance global del acuífero.

2. Es deseable construir un modelo de simulación representativo del sistema acuífero, cuando se disponga de una larga historia de la explotación y de los niveles.

3. No conviene subestimar la contribución de las capas semipermeables super o subyacentes a las capas acuíferas, propiamente dichas. A menudo, el acuífero se comporta como un dren en una cuenca sedimentaria de capas poco permeables y muy potentes, que almacenan volúmenes de agua considerables. Este hecho se traduce por un coeficiente de almacenamiento muy superior al medido por ensayos de bombeo de corta duración; utilizar estos últimos para calcular la previsión conduce, por lo general, a resultados muy pesimistas (depresiones exageradas y aceleradas a largo plazo). Por el contrario, hay que tener en cuenta el tiempo para movilizar estas “reservas suplementarias” que harían subestimar las bajadas de niveles a corto plazo.

Determinar los cambios del coeficiente de almacenamiento que van a regir la evolución de niveles es una de las principales dificultades de la modelización del comportamiento a largo plazo de los acuíferos profundos en cuencas sedimentarias complejas. Ante la duda es mejor ser un poco pesimista y “revisar al alza” las previsiones iniciales.

4. No es adecuado despreciar los efectos sobre los límites de un acuífero cautivo y sobre la posibilidad de alcanzar un equilibrio dinámico que puede diferir bastante del equilibrio natural inicial. Este efecto se debe, en acuíferos cautivos, a que parte del flujo natural es mantenido por “drainance” (intercomunicación vertical).

5. La estimación de las reservas explotables debe basarse en criterios económicos con los siguientes condicionantes:

– Condicionantes internos: profundidad máxima considerada como aceptable por los usuarios, porque constituye el factor determinante de los costes de producción.

– Condicionantes externos: limitaciones impuestas a la explotación para evitar consecuencias negativas sobre las surgencias naturales y, en ocasiones, sobre la estabilidad del suelo (las subsidencias del terreno pueden ser muy negativas sobre las construcciones). La

reserva explotable no es una magnitud constante puesto que, como en el caso de una explotación minera, es un valor sujeto a variables tecnológicas y económicas. La simple evaluación hidráulica se sustituye por un “modelo de oferta” que aporte una respuesta específica a cada alternativa proyectada.

6. El conocimiento de un acuífero es interactivo con su explotación. Sería poco realista exigir un conocimiento detallado y “completo” de un acuífero previamente a su explotación, para definir un programa teórico de extracción. Es imprescindible un control preciso y constante de las explotaciones (producciones, niveles y calidades de agua), denominadas “explotaciones experimentales” que permitan ajustar progresivamente el programa de aprovechamientos.

Orientaciones prácticas

1. Los usuarios de un mismo acuífero son necesariamente solidarios, porque sus acciones individuales se interfieren recíprocamente. Una reserva de agua no puede ser dividida, como ocurre, por ejemplo en los yacimientos mineros, en “propiedades individuales” ligadas a la posesión del suelo. Su gestión es obligatoriamente colectiva, lo que implica una concentración y una disciplina entre los usuarios, así como una autoridad para el arbitraje.

2. En este momento, la gestión planificada implica que se adopten objetivos conservadores (protección de derechos adquiridos por los primeros usuarios) y/o voluntaristas (asignación de recurso preferencial a cierto tipo de usuarios). Para ello se necesitan medios:

- Legales (base jurídica). Los estatutos de las comunidades de usuarios deben dar el marco legal complementario.

- Técnicos, constituidos por un aparato técnico de control y asesoramiento.

3. En el futuro de los sistemas acuíferos sobreexplotados de zonas áridas, la elección se plantea entre mantener la producción intensiva y menos duradera o una producción menor, pero prolongada en el tiempo.

Se trata, en definitiva, de argumentos económicos. Es un caso típico de planificación: adoptar un escenario entre las diferentes posibilidades. La decisión es en último término una función política. Planificar es en cierta manera “atenuar la dictadura del presente sobre el futuro”.

4. Por último, la explotación de las reservas de aguas subterráneas implica prever soluciones de sustitución para satisfacer las demandas de agua mediante tres posibles alternativas:

- Trasvase de agua superficial, desalación de aguas salobres continentales y desalación de agua del mar.

- Transformar las demandas de agua con reducción de consumo.

- Conjuguar el incremento de recursos con la disminución del consumo.

Bibliografía

ANONIMO (1977): “Expansion des resources en eau dans les zones arides”. Inchap, 6, p.68: Les captage des nappes fossiles. Nat. Acad. Sc. USA, Washington.

BEAR J.; LEVIN O. (1967): “The optimal yield of an aquifer”. Asroc. intern. Hydrol. scient. Sympos. Haifa. AISH/UNESCO-DHI publ. AISU n° 72, pp. 401-412, Gentbrugge.

COLECTIVO (1952): L’Hydrologie de la zone aride. UNESCO, 217 p., París.

COLECTIVO (1972): “Alternative yield concepts in Ground Water Management “. ASCE, Manual et Reports on engineering practice, n° 40, pp. 17-22. New York/trad. fr.J. Mar gat, Rapport BRGM 73 SGN 290 AME Orléans.

COLECTIVO (1989): Congreso sobre la sobreexplotación de acuíferos. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Almería.

CONOVER, C.S. (1961): “Ground-water in the arid and semi-arid zone; its source, development and management”. Notamment: 4.1. Ground-water Mining. Associntern. Hydrol. scient, Colloq. Athé-

- nes. Eaux sout., zones arides, II-Publ. AIHS, n° 57, pp. 517-524. Gentbrugge.
- ERHARD-CASSEGRAIN, A.; MARGAT, J. (1978): L'eau matière-première. Rapport BRGM 78 SGN 674 HYD, 89 p. Orléans.
- ERHARD-CASSEGRAIN, A.; MARGAT, J. (1982): Introducción á l'économie générale de l'eau. Masson, 365 p., París.
- HEINDL, L.A. editor(1974): "Hidden waters in arid lands". Report of a work-shop on Groundwater Research Needs in Arid Zones, 25 nov., París.
- LEGISLACION DE AGUA: Edición preparada por A. Reverte y E. Pérez. Tecnos. Madrid, 1.986 (2ª Edición); 270 pp.
- MANDEL, S. (1977): "The overexploitation of groundwater resources in dry regions". In Arid zone Development. Potentialities and Problems. pp. 33-51 Ballinger, Cambridge. Massachusetts. USDA.
- MARGAT, J. (1966): "Ages des eaux souterraines et renouvellement des réserves des nappes". Bull. BRGM, Fr., n° 6, pp. 37-51.
- MARGAT, J. (1976): "L'exploitation des réserves d'eau souterraine". Facteur de développement dans la zone aride et semi-aride" Cahiers du CENEC. Colloq intern. París, 2213, París.
- MARGAT, J. (1977): "De la surexploitation des nappes souterraines". Colloq. nat. Eaux sout. approv. eau France, BRGM Nice, oct. 1.977, t. II, pp. 393-408. Orléans.
- MARGAT, J. (1979): "Aridité et ressources en eau". Conf: sémin. inter. politique de l'eau agric. zones arides et semi-arides.
- CIEH/CEFIGRE, Niamey, fev. 1979. Rapport BRGM, 79 SGN 225 HYD, 25 p., Orléans.
- MARGAT, J. (1981): "Connaissance de la ressource en eau en zone aride" ACSAD/CEFRIGE, Sémi, prépdr, cours intern. Planification des edux dans les zones arides. Thème 1 "Informations nécessaires au planificateur", janv. Sophia Antipolis.
- MARGAT, J. (1981): "Evaluation et exploitation des ressources en eau souterraine en zones arides et semi-arides". Conf: Cours interne. planif: edux zones arides, CEFRIGE, Oct., Sophia-Antipolis. Rapport BRGM 81 SGN 797 EAU, 84 p., Orléans.
- SCHENEIDER, H. (1977): "Management of groundwater resources in arid zones" Conf: différ. strategies mise en valeur et gestion des déserts, Sacramento, USDA, mai-juin, conf. pap. vol.II, 25 p.
- SEMENT, M. y LOPEZ BERMUDEZ, E (1986): "Explotación de aguas subterráneas en zonas áridas y semiáridas de España". Coloquio sobre demanda y economía del agua en España. Universidad de Alicante. Caja de Ahorros del Mediterráneo. Alicante.
- SEMENT ALONSO, M. (1988): "La sobreexplotación de acuíferos en España". VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Oviedo.

Agua y territorio en regiones deficitarias. El caso del sureste español

■ *Juan B. Marco Segura*

El papel del agua en la asignación territorial de la actividad humana es muy especial, a pesar de su importancia destacada. El agua es un recurso natural y como tal, en principio estaría sujeto a la misma problemática de asignación que el territorio. Sin embargo, posee una serie de características que lo hacen singular. Se trata de un recurso renovable, con unas cantidades medias que marcan la disponibilidad máxima en una zona, pero que de un año a otro varían sensiblemente. Para aprovechar el agua, por lo tanto se precisa una infraestructura de almacenamiento, los embalses para los recursos superficiales. En el caso de las aguas subterráneas el depósito ya existe y es enorme, pero precisa una infraestructura de extracción.

Los volúmenes extraídos no pueden sin embargo, ni en un caso ni en el otro superar la renovación media. Si el consumo no supera la media, en los embalses y acuíferos se alcanza una posición de equilibrio dinámico alrededor del cual oscila el almacenamiento. En cambio, si el consumo supera la renovación, el volumen de reservas decrece paulatinamente. El equilibrio es imposible y el agua se consume en cuanto llega. Los embalses superficiales permanecen por esta causa

prácticamente vacíos y los niveles freáticos descienden inexorablemente. Por tanto, la situación territorial de las zonas deficitarias, es esencialmente diferente del resto. En ellas el consumo y el desarrollo no es sostenible. A largo plazo, la situación se equilibra, bien por la importación de agua o bien por el abandono de la actividad económica.

El agua, como factor de producción es un bien económico más que está sometido o mejor dicho, debería estar sometido a las mismas leyes. La sociedad, sin embargo, impone en casi todos los países una legislación que coarta y mitifica notablemente la aparición de mecanismos de mercado. Esto es un reflejo del carácter que tiene como sostén imprescindible de la vida. Y es que realmente hay dos aguas: el agua para el consumo humano, no tiene precio y su valor está relacionado con la propia dignidad humana. Pero el agua para la producción de bienes no es, en los países desarrollados sino un bien económico más. El hombre no tiene más derecho a producir melocotones que a producir zapatos. Y sin embargo, por el papel que tiene el agua, singular, en la producción de alimentos, que es una primera necesidad humana, las legislaciones le dan prio-

ridad frente a otros usos, en un gesto atávico que está plenamente justificado en países en los que el alimento falta, como son los países subdesarrollados, pero que en países desarrollados es difícilmente justificable.

El agua como bien económico se comporta más como un estrangulamiento por la extraordinaria rigidez de su curva económica de demanda. Transportar agua es tecnológicamente factible desde hace milenios. Pero el volumen requerido es tan grande que exige obras cuyo costo se incrementa exponencialmente a poco que la distancia o la elevación necesaria se incrementen. Donde el agua existe, su costo es una fracción mínima del coste total, pero si no existe, la actividad económica se imposibilita.

Este carácter de estrangulamiento contribuye a crear en la opinión pública el concepto de que también ese agua que denominamos “económica” es un derecho inalienable de toda persona, puesto que es imprescindible para determinada actividad económica. La realidad es que las actividades económicas tienen necesidades de agua muy diferentes, que no guardan proporción con sus beneficios. Compárese la industria microelectrónica u óptica, cuyo consumo es nulo, con la industria papelera o la agricultura de regadío. Por este motivo, la Unión Europea demanda a sus miembros que cobren las obras hidráulicas por lo que valen a quienes de ellas se benefician, incorporando este costo en la producción, ya que sólo así se logra la correcta asignación de los recursos económicos. Y no es que se cobre por el agua. El agua es de todos y no tiene costo. Lo que vale, y mucho, es regularla y transportarla. Ahí entra la ordenación territorial como ciencia y técnica para asignar al territorio, aquel uso para el que está mejor preparado.

Evidentemente en esas condiciones, las regiones con escasos recursos hídricos en principio han de orientar su actividad hacia aquellos sectores para los cuales el consumo de agua sea menor, o en caso contrario, en virtud del diferente comportamiento hidrológico de los sistemas excedentarios y deficitarios, el desarrollo no será sostenible.

El agua como elemento localizador de los asentamientos urbanos

Los asentamientos urbanos se fundaron en virtud de tres factores: defensa, agua y comunicación. No es casual que los núcleos primitivos de las ciudades mediterráneas tuvieran una posición dominante, contigua a un río o manantial y controlando una vía de comunicación, sea éste el mar o un corredor terrestre. Además los valles fluviales han sido siempre los corredores territoriales a lo largo de los cuales se han desplazado las migraciones humanas y los ejércitos, hasta hace bien pocos años.

El agua, para nuestros antepasados era una línea de defensa. Hoy, en general ya no lo es y mucho menos en el mundo mediterráneo. Pero también cubría las necesidades básicas humanas, tanto de bebida como limpieza. Y en las civilizaciones preindustriales, era el recurso básico para la economía, ya que la riqueza era fundamentalmente agraria. En la industria incipiente el elemento energético básico era el molino. Interesaba tener estos elementos de producción próximos a los asentamientos de población ya que había que ir al trabajo cada día sin medios mecánicos de transporte.

Por todas estas razones, la población hasta hace 100 años era forzosamente mucho más dispersa, y el agua constituía un factor de localización imprescindible. Si existía un regadío implantado y una situación pacificada desde generaciones atrás se daban las condiciones para una población dispersa en las huertas. Estas son las condiciones que desde hace más de 1.000 años se dan en el sureste español. Salvo el breve y comparativamente pacífico episodio de la reconquista, las zonas más áridas de España han disfrutado de una estabilidad notable. Por esta causa el esquema territorial histórico, anterior a la revolución industrial, es el de un sistema de núcleos comerciales y de servicios (Almería, Lorca, Murcia, Orihuela, Elche y Alicante) con sus huertas y una población dispersa en “rincones”, pedanías, ... La densidad poblacional de la huer-

ta, contrasta con la del secano, particularmente improductivo.

Las ciudades, si exceptuamos experimentos administrativos como Brasilia o Washington, y desde luego en el viejo mundo mediterráneo, nunca crecen desde la nada. La economía se ha desplazado a los núcleos urbanos, sobre todo en los países industrializados. Determinadas zonas se han desarrollado económicamente atrayendo población. A su vez la población atrae las inversiones o genera las suyas propias. De esta manera, las ciudades o las conurbaciones generan una dinámica de crecimiento propia. En otras palabras, las ciudades crecen sobre sí mismas.

Desde este punto de vista, de los tres factores de localización urbana antes mencionados, sólo las comunicaciones mantienen su valor como elemento potenciador o depresor de la actividad económica de una urbe. Los corredores fluviales no mantienen su actividad por el agua sino por su papel en el transporte de personas y mercancías. El eje del Vinalopó o el del Segura tienen su importancia desde antes de la conquista romana por ser el camino más fácil desde la costa a la meseta.

El modelo territorial español

El modelo territorial español, se caracteriza (DGPT, 1995a) por la dispersión de las concentraciones, en el sentido que la población se concentra en ámbitos muy reducidos urbanos o metropolitanos pero éstos se hallan muy distantes entre sí. El 90% de la población, se asienta sobre el 25% del territorio y un 50% en tan sólo el 5% de éste. Esta distribución se articula en los siguientes ámbitos de concentración.

– El Arco Mediterráneo (COPUT, 1993), desde Gerona a Gibraltar con tres grandes subáreas, Cataluña entre Tarragona y la frontera francesa, Castellón-Lorca y Almería-Tarifa.

– Corredores de Andalucía, de Ayamonte y Cádiz a Bailén y Sevilla-Granada.

– El eje del Ebro, de Bilbao a Zaragoza.

– El País Vasco, y su prolongación a Santander.

– Corredor litoral gallego de Tuy al Ferrol.

– El Área Metropolitana de Madrid.

– Los territorios insulares.

Y otros ámbitos de menor importancia como:

– El área central asturiana.

– El corredor Burgos-Salamanca.

– El Valle del Guadiana de Mérida a Badajoz.

– El conjunto central manchego.

Se podría argüir que alguno de estos ámbitos se ha generado por la relación con el agua. Eso pudo haber sido así en origen. Por ejemplo, entre Castellón y Tarragona o entre Lorca y Almería el arco mediterráneo localiza poca actividad, en planas con pocos recursos hídricos. Esto fue así cuando la agricultura era la fuente principal de riqueza. Hoy priman otros factores como la facilidad de transporte, pero sobre todo la existencia de recursos humanos y su cualificación. La diferencia inicial sí la marcó el agua.

El sureste español, la zona deficitaria mayor no sólo de España sino de toda Europa, es un ámbito geográfico que abarca desde el Cabo de la Nao hasta Adra, resguardada de las lluvias oceánicas por un círculo de sierras y con una pluviometría alrededor de los 300 mm que contrasta apreciadamente con su entorno. Su población, cerca de 3.000.000 de habitantes se articula en el citado Arco Mediterráneo. En este caso la línea de actividad económica, tiene como núcleos básicos del eje, Benidorm y su entorno turístico, Alicante como centro de servicios y comunicaciones, Elche con clara vocación industrial, Orihuela más centro agrícola, Murcia centro de servicios, Lorca, más agrícola, Almería como centro provincial y la zona agrícola intensiva de Adra y el Campo de Dalías. Por razones de comunicación, disponibilidad de agua, salubridad y defensa, este eje no está directamente en la costa sino desplazado al interior. El núcleo de Cartagena, situado en fondo de saco no alcanza relevancia hasta el siglo pasado, precisamente por su falta de agua y exposición.

Junto al arco mediterráneo, dos ejes de comunica-

ciones, Alicante-Albacete y Murcia-Albacete localizan el resto de la actividad económica. El resto del territorio está básicamente despoblado.

Demografía

El proceso de concentración de la población española en estas zonas fue el fruto de migraciones internas de larga distancia producidas entre 1950 y 1975 especialmente. Sin embargo, estas migraciones se detuvieron hace 20 años al alcanzarse un grado de desarrollo suficiente (Calvo, J.L. y Pueyo, A. 1990). Hoy las migraciones son de corta distancia. Los pueblos tienden a despoblarse a costa de las ciudades de tamaño mediano, capitales provinciales sobre todo, en las áreas metropolitanas se da una dinámica de vaciado del núcleo central en favor de los suburbios y las partes exteriores del área metropolitana.

El descenso brutal en la natalidad, más acentuado en la mitad norte de España, va a llevar a nuestro país al crecimiento cero en pocos años. Por estos motivos, en las próximas décadas la dinámica poblacional estará caracterizada por la fecundidad que además será muy baja por lo que la situación demográfica se puede considerar como cristalizada. La concentración a lo largo de la costa y en Madrid de la población española, parece un hecho irreversible. Actualmente el 31,5% de la población española vive a menos de 5 kms de la línea de costa (DGPT, 1995a).

Este proceso de deslizamiento hacia la costa y de meridionalización de la población española, se mantendrá y profundizará en el futuro, al igual que el vaciado de las regiones y comarcas interiores, a excepción de las capitales provinciales, y hay que hacer notar que esta tendencia agudizará los problemas al concentrarse la población en las zonas con mayor déficit hídrico.

Lo dicho con carácter general para España, es en principio válido para el sureste. Si en la década de los 50, Almería, Murcia y Alicante iniciaron al igual que otras provincias españolas el proceso de emigración

hacia ciudades mayores, este proceso se detuvo en los 60 e invirtió su tendencia. Dos son las claves de este proceso: el turismo y la agricultura intensiva.

De hecho, hoy en día la tasa de natalidad de Alicante, Murcia y Almería es de las más altas de España. Es interesante comparar la posición que ocupaban las tres provincias en el caso de 1950 y en el de 1998.

| | 1950 | 1998 | |
|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Provincia | Población | Población | Nº de Orden |
| Alicante | 632.792 | 1.388.933 | 5 |
| Murcia | 756.721 | 505.448 | 8 |
| Almería | 354.543 | 1.115.068 | 28 |

La pirámide demográfica de Alicante, por ejemplo es radicalmente diferente mucho más joven que la de Valencia.

La tendencia espacial es sin embargo, muy clara: se consolida el eje costero en sus dos líneas, la tradicional del eje Segura-Guadentín y la costera por Santa Pola, Torrevieja, Cartagena y Águilas. Igualmente se consolidan los ejes del Segura y del Vinalopó. Aquí conviene igualmente citar la eclosión de Albacete como polo de desarrollo enormemente dinámico y contiguo, a medio camino de la capital de la nación.

El resto del territorio, se vacía inexorablemente.

Ha aparecido en el sureste un nuevo fenómeno, el de la inmigración extranjera. Por una parte, los inmigrantes europeos, en gran parte retirados pero también activos que se instalan permanentemente a favor del fenómeno turístico. Por otra la inmigración en gran parte ilegal del norte de África y Sudamérica. Los norteafricanos han ocupado como mano de obra barata y en condiciones a menudo infrahumanas el escalón más bajo de los puestos de trabajo en las explotaciones agrarias intensivas. Se cuentan por miles en El Ejido, en Lorca o en el Campo de Cartagena. Los inmigrantes latinoamericanos, más recientemente están cubriendo los puestos más bajos en el sector turístico de Benidorm, Torrevieja, etc.

La agricultura

Entre los sectores económicos que usan el agua, la agricultura ocupa el primer lugar, ya que consume el 80% de la demanda de agua nacional. Sin embargo, su aportación al PIB es apenas de 1,5%. Esta cifra puede ser engañosa ya que vía efectos indirectos, su importancia se multiplica. El efecto hacia atrás en la economía, puede llegar al 25% y de la agricultura depende un potente sector agroalimentario, cuyo Valor Añadido Bruto es equivalente al de la producción agraria y que además genera una demanda acusada en los sectores del papel, químico y del transporte. Por tanto, si bien la agricultura propiamente dicha supone el mencionado 1,5% del PIB, su importancia real, al menos triplica dicha cantidad.

El regadío español tiene dos patrones de cultivos claramente diferenciados (DGPT, 1995b). Por un lado, el regadío del interior, continental, que por razones climáticas está limitado a producciones de ciclo anual como los cereales, la remolacha, etc., y el regadío mediterráneo donde predomina el sector hortofrutícola, los cítricos e incluso los cultivos semitropicales. La rentabilidad de estos dos tipos de cultivo es bien diferente. Mientras los primeros en ningún caso superan las 15 pts/m³ de agua aplicada, los segundos oscilan entre 60-70 pts/m³. Es decir, la productividad económica de estos últimos cuadruplica la del regadío del interior.

La diferencia además va a aumentar en virtud de la PAC (Política Agraria Comunitaria) y a los acuerdos del GATT, porque estos cultivos se producen a menor precio dentro y fuera de la Unión Europea.

Además, las externalidades asociadas con la expansión del regadío interior son muy importantes. En primer lugar, la disminución de la producción hidroeléctrica por el uso consuntivo aguas arriba, es de 8,44 pts/m³ en el Júcar, 6,62 pts/m³ en el Tajo y 14,55 pts/m³ en el Duero (MOPT, 1993). Si restamos estas cantidades al beneficio logrado (15 pts/m³) la rentabilidad de estos regadíos para el conjunto del país se

reduce a la mitad. Por no mencionar el costo en el que habrían de incurrir los regadíos costeros (35 pts/m³) si la expansión del regadío del interior obligara a costosos trasvases. Desde luego, el regadío del interior no puede ni de lejos pagar un trasvase ya que el costo duplicaría los beneficios.

En la década de los 80, a pesar de todos los esfuerzos y subvenciones, la superficie en riego por encima de los 300 m decae. Este descenso por simple falta de rentabilidad, adquiere tintes dramáticos por encima de los 700 m de altura. Este descenso cuestionaría la viabilidad para la nación de emprender nuevos regadíos a cotas altas.

Sin embargo, la tendencia se ha frenado en la década de los 90. Albacete, por ejemplo ha triplicado su superficie en regadío en los últimos 20 años. La razón no es otra que las subvenciones de la Unión Europea, que a pesar de sus declaraciones en contra todavía es lo suficientemente generosa como para que sea muy rentable producir excedentes, como dijo un ministro de Agricultura de nuestro país. De hecho sorprende que países como Francia con un mayor nivel de desarrollo que España haya incrementado sus regadíos entre 1980 y 1993 en un 71,2% mientras España sólo lo elevó en un 14%. Es evidente que a raíz de la entrada en la Unión Europea, España está siguiendo el patrón francés.

Sin alcanzar la gravedad del regadío interior, el regadío costero parece también haber tocado techo, quizás porque las subvenciones europeas aquí son inexistentes. El sector hortofrutícola español, supone el 50% de las exportaciones agrarias, que a su vez suponen el 17% de la exportación total española. Estas exportaciones se localizan básicamente en el sureste español, entre Castellón y Almería. Las cinco provincias (Castellón, Valencia, Alicante, Murcia y Almería) totalizan el 78% de estas exportaciones (Barceló, 1993). Conviene recordar aquí que esta zona concentra el déficit hídrico nacional.

El sector hortofrutícola también ha tocado techo y sufre cambios internos muy importantes. En el período

1982-89, los cultivos hortícolas en huerta, intensivos en mano de obra han caído en un 20,2% mientras crecen los invernaderos el 103,1%, los cítricos (21,9%) y los cultivos hortícolas en labor, 24,6%. El cultivo hortícola en labor es en parte responsable de los nuevos horizontes que han aparecido en el regadío interior, al darse grandes explotaciones donde la mecanización es fácil, lo que permite superar la obligada estacionalidad climática. La demanda de agua de este sector no va a crecer al tratarse de cultivos con menores necesidades y mayor control del agua, pero va a demandar más seguridad, más garantía de suministro. Esto es obvio puesto que el sector se dirige hacia una intensificación del factor capital.

El envejecimiento de la población agraria es espectacular. No se llega ya al millón de agricultores y éstos decaen a un ritmo cercano al 6% anual. En la mitad norte de España, el envejecimiento es irreversible. No así en el sureste donde las razones demográficas antes apuntadas hacen que sea aún viable el mantenimiento de una población agraria.

Por tanto, el regadío español, por sí solo no va a crecer. En el interior está en regresión, en el norte de la península. La Meseta Sur y Andalucía concentran el crecimiento. En la costa está abocado a una intensificación sin incremento en la superficie regada y por tanto en la demanda de agua. Las garantías de suministro requeridos, sin embargo, crecerán a lo largo de toda la costa mediterránea.

El sector industrial

La industria española consume poca agua. El motivo está en el retraso con que España se industrializó y el predominio de sectores manufactureros con escasas necesidades hídricas.

De entre los sectores industriales sensibles al agua, cabe citar el sector metalúrgico que necesita agua para refrigeración, el sector químico, el textil en la preparación de productos intermedios, el curtido, el sector papelerero y finalmente el agroalimentario. Si exceptua-

mos el sector alimentario y el químico, todos los demás son sectores en regresión, la industria que necesita mucha agua, es la tradicional, hoy en reconversión. Además se trata de una industria fuertemente contaminante que por sus escasas perspectivas de futuro no puede hacer frente a las exigencias crecientes de descontaminación (Marco, J. B. 1995).

Su localización espacial es bien clara: la costa y algunos núcleos aislados del interior donde se asienta la población: Madrid, Valle del Ebro, Valladolid. El modelo espacial de la industria española no es muy diferentes del demográfico y no son de esperar cambios significativos en las próximas décadas.

Si particularizamos la situación para el sureste español, aún es menor el impacto de la industria. Si exceptuamos el entorno de Cartagena, con una industrialización nacida en el siglo XIX al amparo de la base naval y de las minas, el resto del territorio se industrializó tarde, con un gran peso del sector manufacturero, en particular en Elche y en los ejes hacia el interior. Se trata de una industria familiar, centrada en el sector del calzado, y del juguete, de escaso o nulo consumo de agua. Con posterioridad se produce la aparición de la industria agroalimentaria. Esta tiene excepcional vitalidad y se centra en Murcia. Su problema, al cual nos referiremos más adelante en detalle, es la importante carga contaminante que aporta y no siempre es debidamente depurada. Otros dos sectores importantes en la región es el del mármol y piedras ornamentales, que consume agua, aunque ésta es recuperable en las industrias de un cierto tamaño. Finalmente, los sectores químico y metalúrgico se ubican en Cartagena y su entorno y Alicante. Son las únicas industrias de un cierto tamaño que requieren suministro de agua independiente, cubierto por los canales del Taibilla, como la mayor parte de la región.

Las nuevas industrias (óptica, informática, nuevas tecnologías, ...) demanda poca agua e incorporan el reciclado y la depuración desde su concepción.

No se puede extrapolar para un hipotético crecimiento industrial, los patrones de consumo actuales.

La demanda de agua industrial no va a crecer sino en forma muy moderada, conforme ha sucedido en países como Italia o Francia, pero sí va a demandar más calidad y garantía total de suministro (Marciani, 1975). En este sentido, el sureste español no es una excepción.

Los servicios y el turismo

El estrangulamiento que produce el agua sobre el sector servicios es poco menos que nulo. Los servicios están donde están en función de la actividad a la que sirven. Están por tanto vinculados a la demografía. Sin embargo, sí queda decisivamente comprometida por la falta de agua el turismo, sobre todo el modelo turístico español de sol y playa para clientes de perfil económico medio-bajo (Vera, 1992). Evidentemente cualquier restricción, por mínima que sea, en el suministro de agua, estropea las vacaciones del visitante y provoca una desbandada. El turista afectado ya no vuelve más. Como este modelo turístico está en crisis, los esfuerzos por atraer turistas de mayor poder adquisitivo son claros. Pero este tipo de turista exige piscinas, campos de golf, ... y por tanto agua. La demanda turística de agua para toda España, es sin embargo, modesta. Se evalúa en 150 Hm³/año, cantidad irrisoria frente a otros sectores económicos. Sin embargo, el suministro de agua sin problemas es una condición básica para el fenómeno turístico y no sólo para las necesidades que podríamos llamar vitales, como beber o ducharse sino con carácter lúdico.

En los conflictos derivados de la escasez, en La Marina alicantina, se manejó la frase "*El agua para regar, no para las piscinas*". Si se analiza la citada alternativa, hay que contar que una hectárea de regadío necesita 7.000 m³/año. Esto es equivalente al consumo de 200 piscinas. Como el cuidado de una piscina supone 20.000 pts/mes y un operario viene a mantener 15 piscinas, esto supone empleo estable para 13 personas y una capitalización de 400 millones de pesetas, que es el valor de las 200 piscinas. Dudamos mucho que un

economista en su sano juicio opte por la hectárea de regadío, y eso sin contar con los efectos indirectos sobre la calidad del turismo. Lo mismo cabe decir de los campos de golf o de un parque temático como "Terra Mítica" cuyo consumo no llega a las 500.000 m³/año.

La distribución espacial de la demanda turística está más polarizada aún si cabe a lo largo de la costa. El turismo de negocios o cultural sigue los patrones del consumo doméstico y se puede englobar en él. En el caso del sureste español, la localización es esencialmente costera, aunque en La Marina irradia hacia el interior.

Esta concentración costera de la demanda es tan notable que un sólo municipio como Benidorm con problemas de agua cuenta con más plazas hoteleras que toda Castilla-La Mancha (CICT-C.V., 1990). Esta demanda no es relocalizable. El turista habitual de Benidorm, no visita museos ni catedrales.

El núcleo turístico alicantino es el tercero por su volumen de España. Sin embargo, es el primero para el turista nacional. Murcia y Almería están más retrasadas lo que las puede permitir evitar errores cometidos en un desarrollo no planificado. El potencial de la costa murciana y almeriense es sin embargo, muy grande y puede beneficiarse mucho del polo de atracción alicantino.

El modelo de uso del agua de la Marina Alta, es un ejemplo paradigmático de buena gestión del agua y de armonización de los intereses de los diferentes sectores que compiten por el agua, basado en la reutilización, el uso conjunto y la gestión unitaria y científicamente programada.

El turismo refleja su impacto económico en ciertos sectores: la hostelería, la construcción turística, el comercio y el transporte.

Por tanto en resumen el sector turístico demanda poca agua pero exige una garantía total. Su localización es inevitablemente litoral. Dado que en estos momentos es el motor de la economía del sureste, es evidente que la demanda de agua que genera ha de ser

contemplada como prioritaria, a pesar de que legalmente es la última.

La calidad del agua y los usos medioambientales, nuevos condicionantes territoriales

Si como se ha expuesto, la demanda de agua tiene pocas perspectivas de crecimiento, las exigencias de calidad, serán cada vez mayores, para todos los sectores económicos y no sólo para el abastecimiento de la población.

En este contexto la situación territorial española presenta bastantes ventajas y algún inconveniente. Con la excepción de Madrid, la concentración de la demanda en la costa, al final de las cuencas hidrográficas, implica que el agua llega por lo general en buenas condiciones y la mayor parte de las vías tiene su curso libre de contaminación. Las exigencias de depuración no son muy grandes, por el tamaño del cuerpo receptor, que suele ser el mar, y la carga contaminante es básicamente de tipo orgánico, fácil de eliminar. Los inconvenientes de esta situación provienen de la aridez del territorio y la escasez de los caudales de los ríos que impiden la dilución.

La importancia del sector turístico antes citada, implica también que los vertidos al mar deben ser controlados, depurados y minimizados. La reutilización de las aguas resulta así fundamental por doble motivo, para evitar la contaminación costera y para recuperar el recurso escaso. La situación costera de las ciudades implica un coste importante de la reutilización, por la necesidad de bombear el agua depurada a cabecera de los sistemas.

En el sureste español, la zona deficitaria más importante, la depuración de aguas está en situación muy contrastada. Mientras Alicante depura y reutiliza la práctica totalidad de los recursos, por la presión del sector turístico, Murcia y Almería presentan un notable retraso. De hecho, por la situación interior del eje Elche-Murcia-Lorca, las aguas sin depurar son reutilizadas ante la carencia de recursos. De ahí que sea un

contrasentido plantear expansiones de regadío en base a aguas depuradas que ya tienen una servidumbre preexistente.

El regadío también tiene exigencias de calidad de aguas que son desgraciadamente ignoradas en la planificación hidráulica. Un problema esencial es la salinidad provocada por la reutilización de aguas de drenaje y por la puesta en regadío de terrenos salobres.

Este problema en España se centra en el Ebro y en el Segura. En el Ebro, la puesta en regadío de los terrenos salobres de las Bárdenas y Monegros, ha hecho subir la salinidad del río a las 1.800 ppm. En el Segura, también se ha puesto en riego terrenos inadecuados (Campo de Cartagena, Rambla Salada), pero es la reutilización de aguas de riego, hasta 6 usos agrícolas sucesivos la que lleva a salinidades del orden de 8.000 ppm en Guardamar. En la técnica del regadío existe una máxima que dice que *“la sal que entra con el agua de riego, debe de salir con el agua de drenaje”*. Esto es sistemáticamente ignorado y el resultado es que amplias zonas de la Vega Baja del Segura están salinizadas y en trance de abandono. Es más, esta necesidad de enviar al mar una cierta cantidad de agua para lavar la sal del sistema, es ignorada en los proyectos de trasvases, de modo que la nueva disponibilidad de agua se traduce socialmente de inmediato en hectáreas de nuevos regadíos.

La trascendencia territorial del sistema de avenamiento es muy importante y por lo general es ignorada.

Lo mismo cabe decir de los usos medioambientales, en particular de los caudales ecológicos y de la dotación para los humedales. Cabe decir que con carácter general no hay una cuantificación fiable de estas necesidades. En el sureste español, no hay más corriente permanente que el río Segura. La necesidad de agua es tan apremiante que no hay caudal ecológico. El que circula es en la práctica agua residual con varios usos agrícolas. Esta situación no es admisible.

En cuanto a los humedales, por su extensión son en su mayor parte lagunas costeras y marismas. En la

costa mediterránea, están con frecuencia asociadas a los sistemas de regadío y reciben sus excedentes. Por ello sus necesidades hídricas con frecuencia se contemplan conjuntamente con los regadíos situados aguas arriba. En el sureste español, sin embargo, los humedales costeros son por lo general salobres, o incluso complejos de salinas, como en Santa Pola, Torrevieja, el Mar Menor, etc. Excepción es la Laguna del Hondo y el sistema de azarbes en la cola del río Segura. Estos humedales forman parte del sistema de riegos y por su situación en cola de todos los usos reciben un agua extremadamente contaminada y salobre.

Al igual que con el caudal ecológico del Segura, esta demanda es sistemáticamente olvidada. Podemos concluir que en el sureste español, cualquier caudal es inmediatamente traducido en hectáreas de riego equivalente. Esta situación es claramente un desarrollo insostenible.

El modelo de uso del agua futuro en el sureste español

Tal y como se ha expuesto previamente, el patrón de uso del agua en España no va a cambiar ya que la demografía está cristalizada por muchos años y la nueva economía no precisa más agua. Según esta lógica la planificación hidrológica debería atender a equilibrar los déficits actuales y poco más. Sin embargo, esta idea global, en el caso del sureste puede fallar, por causa del crecimiento agrícola.

En efecto, en la última década, la región murciana ha sido la única de España, y quizás de Europa en la que el porcentaje agrario del PIB se ha incrementado. Nadar a contracorriente puede ser interesante a corto plazo, y probablemente así haya sido, pero no puede mantenerse a largo plazo. En un país desarrollado y miembro de la Unión Europea como es España, insistir en la especialización agrícola es un suicidio económico, máxime si para lograrlo se ha de basar en la importación de agua a coste alto porque la paga la comunidad a través de subvención encubierta o precio

político del agua y con mano de obra barata procedente de la inmigración en muchos casos ilegal.

Eso no quiere decir que haya que renunciar la agricultura, sino que el desarrollo económico se ha de lograr en base a la intensificación por un lado y a completar el proceso de producción por el otro. La intensificación implica una apuesta por la calidad en lugar de la cantidad. Implica una selección de los cultivos y variedades con el máximo valor añadido por hectárea, produciendo fuera de temporada, a través de invernaderos y cultivos forzados, y con la mayor tecnificación agraria. La compleción del proceso de producción supone potenciar la industria agroalimentaria, la tecnología de alimentos. Esto ya está sucediendo en forma espontánea.

Junto a esta opción, que sin renunciar a la vocación agrícola para la cual climáticamente la región sureste posee cualidades óptimas no supone incremento del uso del agua ni de la superficie en riego, está la opción turística. El arco mediterráneo español, sin pretenderlo está mimetizando el modelo de desarrollo territorial y económico de California y Florida. En el primer caso, la estructura territorial y climática, la política de trasvases con sus problemas en los años 30-50 es sorprendentemente similar, sin el factor de la industrialización. La estructura económica es más bien similar a la de Florida. No son estados regresivos sino todo lo contrario en una economía unificada como lo es la norteamericana.

El peso del sector servicios y del turismo en particular en el sureste español va a ser decisivo. Por ello es imprescindible una planificación territorial muy cuidadosa de la franja costera, asegurando el agua incluso a costa de la agricultura, lo cual a través de la reutilización y la desalación puede ser perfectamente compatible. También, y no sólo por su valor intrínseco sino también por proteger ese sector turístico y lograr una alta calidad de vida, es preciso tomarse en serio la protección del medio ambiente, en diversas facetas: proteger de la desertización las montañas y el secano. Proteger las huertas de la salinización y el abandono, pro-

teger la población de la contaminación, hidratar debidamente los humedales.

El sureste, precisa aportes de agua externos importantes, para que la escasez de agua no estrangule la economía y para mantener la riqueza creada. Sin embargo, es imprescindible romper la espiral de creación de mayor superficie regada, mayor déficit y esa dinámica por la cual cada nueva disponibilidad de agua, sea por depuración, desalación o trasvase genera nuevas hectáreas en riego. Lo mismo hay que decir del riesgo de que el sector turístico se base fundamentalmente en nuevas construcciones, en incrementar la capacidad de acogida.

Las cantidades a trasvasar, por lo expuesto, es preciso que cuenten con una dotación de sacrificio para el drenaje de la salinidad y para los usos medioambientales, y que contemplen una dotación holgada para el sector turístico.

Desde el punto de vista del planeamiento hidrológico, la localización de la demanda a lo largo de la costa plantea el problema de la unidad de cuenca. Los ríos desembocan al mar en un sólo punto y entre cuencas vertientes existen unas zonas que drenan directamente al mar, las fachadas costeras. Entre dos ríos importantes existen muchas pequeñas cuencas desprovistas de recursos. Si la población se ubica a lo largo de la costa, es preciso cubrir esta demanda con caudales de los ríos importantes a través de infraestructuras paralelas a la costa. Si sacralizamos la unidad de cuenca hidrográfica jamás podremos abastecer a esta demanda ya que se trata de trasvases. Estas infraestructuras ganarían mucho de poderse construir con carácter reversible ya que al ensanchar y unificar los microsistemas costeros (el ejemplo de Benidorm es claro) se incrementa sistemáticamente la garantía sin que ello implique necesariamente incremento de consumo.

El sureste español, distribuido entre tres Confederaciones Hidrográficas, es un ejemplo palpable de cómo la sacralización de la cuenca lleva a que un problema único, el más grave de la planificación hidráulica española, haya de ser gestionado desde tres centros

con ópticas diferentes y ni siquiera la división entre los tres, que es artificial coincide con la de las 3 comunidades autónomas. Esta división supone que lo que en realidad es un único problema, sea presentado con tres, enmascarando además la situación de Comunidades Autónomas como la valenciana, donde se da una diferencia de hecho radical entre Valencia y Castellón por una parte y Alicante por otra.

El imprescindible trasvase que es necesario abordar para estabilizar la situación hidrológica del sureste español, tiene consecuencias e implicaciones territoriales muy serias tanto en las regiones cedentes como en las receptoras.

No cabe duda de que el vaciado poblacional del interior es malo. Pero el motor económico está y estará progresivamente en la costa. Una política territorial que bloquee el crecimiento económico de la costa, a medio plazo se vuelve contra el interior. Este es el riesgo que se corre si se emplea la carencia estructural del agua como mecanismo de bloqueo para llevar las inversiones al interior. En particular una política expansiva del uso del agua en el interior puede ser muy peligrosa para todos, incluso para el propio interior que pretendemos desarrollar.

Por eso, hay que movilizar otros instrumentos territoriales, léase por ejemplo comunicaciones hacia el interior, potenciación de las ciudades medianas no costeras, ... para lograr que el crecimiento económico de la costa irradie vía efectos indirectos tierra adentro, para lograr un uso armónico del territorio.

Bibliografía

- BARCELÓ, V., 1993, La Agricultura. La Comunidad Valenciana en la Europa Comunitaria. Generalitat Valenciana.
- CALVO, J.L. y PUEYO, A., 1990, Cartografía de potenciales de población y dinámica demográfica en España. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.

- CONSELLERIA D'INDUSTRIA, COMERÇ I TURISME, 1990, Libro Blanco del Turismo de la Comunidad Valenciana. Valencia.
- COPUT, 1993, Arc Mediterrani espanyol: eix europeu de desenvolupament. Valencia, Conselleria de Obres Públiques, Urbanismo i Transports. 241 pg. Publicacions de Divulgació Técnica del Territori, nº 3.
- CORREIA, F.N., 1987, Recurso Hídricos, Algunos problemas que se levantan en Portugal. III Simposio Luso-Brasileiro de Hidráulica. Salvador de Bahía, Brasil.
- DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, 1995, Recursos Hídricos y marco territorial. Ciudad y Territorio, III, nº 105, págs. 517-540. MOPTMA.
- DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL, 1995, El regadío español: evolución reciente, competitividad y perspectivas en el contexto europeo y mundial. Ciudad y Territorio, III, nº 105, págs. 541-557. MOPTMA.
- GONÇALVES HENRIQUES, A., 1985, Avaliação dos recursos hídricos de Portugal Continental. Instituto de Estudos para o desenvolvimento. Lisboa, Portugal.
- MARCIANI, G.E., 1975, La situazione delle utilizzazioni idriche nel mezzogiorno. SVIMEZ. Roma, Italia.
- MARCO, J.B., MATEU, J.F., ROMERO, J., 1994, Regadíos Históricos Valencianos: Propuesta de Rehabilitación. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Generalidad Valenciana, Valencia.
- MARCO, J.B., 1995, El agua como factor de estrangulamiento de la economía en la comunidades valenciana y murciana. Ciudad y Territorio, III, nº 105, págs. 577-588. MOPTMA.
- MOPT, 1993, Anteproyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional. Memoria.
- NALBANTIS, I. KOUTSOYIANNIS, XANTHOPOULOS, T., 1991, Modeling of the Athens water supply system. Advances in Water Resources Technology. G. Tsakiris, Ed. Balkema, Holanda.
- VERA, F., 1992, El modelo turístico: característica y cambios. Ejes territoriales de desarrollo. Velarde *et al.* (Eds.). Colegio de Economistas, Madrid.

El concepto de déficit y excedente hídrico desde la perspectiva de la Directiva Marco

■ **Pedro Arrojo Agudo**

Departamento de Análisis Económico. Universidad de Zaragoza

¿Dónde estamos y de dónde venimos?

Creo necesario ante todo una clarificación conceptual en torno al término “*Cuencas Deficitarias*” que preside este Congreso. Este término junto a otros como “*Excedentes*”, “*Demandas*” o “*Desequilibrios Hidrológicos*” son sistemáticamente usados en la nomenclatura de gestión de aguas con una notable falta de rigor. Para ello es imprescindible ubicar de *dónde venimos* en lo que se refiere al universo conceptual que nos rodea en materia de aguas.

Los conceptos y términos referenciados son herencia del paradigma productivista de finales del XIX que, en materia hidráulica, tuvo su proyección en el *Estructuralismo* Costista (Díaz Marta, 1999). Sin entrar en pormenores sobre el contexto socioeconómico de aquella España, sobre el que arraigó con fuerza el espíritu y el pensamiento regeneracionista bajo el lema “*Despensa y Escuela*”, sí creo pertinente una rápida reflexión respecto a la conceptualización que se hacía de *la Naturaleza* así como del papel de *la Ciencia*, y que, en gran medida, ha extendido su vigencia a lo largo del siglo XX.

Autoras como Evelyn Fox Keller han reflexionado y profundizado sobre esta cuestión, señalando a F. Bacon, ya en el XVII, como el primero en articular esa clara concepción de la *ciencia* como “*dominadora*” de *la naturaleza* que se impondría en la comunidad científica moderna hasta nuestros días. El discurso *baconiano* empieza presentando los perfiles y valores de la Naturaleza, desde las correspondientes imágenes y metáforas, como *madre* y *base de la vida*; desde este sesgo de género femenino se vuelve luego hacia los perfiles que caracterizan a la naturaleza como esa *mujer*, *objeto de deseo* que, con su *hermosura* y *belleza*, nos arrebata y enamora; para, finalmente, hacer énfasis en los contrapuntos, de “*inestabilidad*”, “*irregularidad*”, “*irracionalidad*” y “*volubilidad impredecible*” que, en definitiva, exigen la acción decidida de la *Ciencia*, esta vez con un sesgo rotundamente masculino, con el fin de *dominarla* y *ponerla al servicio del progreso* (Fox, 1991).

Ciertamente, si bien este no es el enfoque vigente actualmente, a nadie le resultará ajeno ni lejano. Hoy *la ciencia* busca no tanto *dominar* como *comprender* la Naturaleza, sus leyes, funcionalidades y equilibrios

para intentar acoplar nuestro desarrollo en su seno desde el nuevo paradigma del *Desarrollo Sostenible*. Sin embargo, las inercias históricas hacen que sigan vigentes estos enfoques obsoletos, de forma especialmente patente, en el ámbito de la política hidráulica. Los ríos tienden a ser considerados como *hermosos patrimonios de naturaleza, base de vida*, que tienen, no obstante, los defectos de *no estar hormigonados, perder el tiempo dando vueltas con sus meandros, en lugar de ir directos a donde deben ir, sorprendernos con sus irregulares caudales* y, sobre todo, *llevar el agua al mar, donde “se pierde”*. En definitiva, en nuestro país se sigue desgraciadamente haciendo *política hidráulica* en lugar de *política hidrológica*.

Del concepto de escasez natural al de déficit

A principios del XX, las potencialidades productivas del agua, catapultadas desde la tecnología del hormigón y la ingeniería civil, tan sólo se encontraban con un problema grave: el económico-financiero. Las elevadas inversiones exigidas por los grandes proyectos hidráulicos y sus largos periodos de retorno hacían fracasar uno tras otro los diversos intentos del capital privado. La solución aportada por Costa y los regeneracionistas basada en la financiación pública desde un moderno Estado regenerado, al servicio del desarrollo socioeconómico, completaría la clave del edificio conceptual que dió cuerpo al *Estructuralismo Hidráulico* que se acabaría imponiendo en el primer cuarto del siglo XX.

Se retomaba así la tradición del Derecho Romano, en lo referente al *Dominio Público* sobre las aguas superficiales, haciendo del *acceso al agua* un *derecho de todos*, como *Bien Público*, si bien su uso acaba, en la práctica, *privatizándose* a través de sólidos derechos concesionales. Es de notar en este sentido que, a menudo, se confunde el énfasis regeneracionista por la gestión pública del agua, con pretendidas influencias socialistas, cuando su inspiración es neta y profundamente liberal.

En este contexto, el concepto de *escasez natural*, que alimentó durante siglos tradiciones culturales y dio pie a todo tipo de conflictos sociales en la distribución del recurso (Pérez, 1999), pasaría a interpretarse, desde la conciencia social, en clave política como un simple problema de voluntad de la Administración. Si el problema existía era simplemente porque la Administración no cumplía con sus funciones. La sistemática subvención masiva de la obra hidráulica generó una percepción de *disponibilidad potencial ilimitada*. Lo que era una *restricción natural* pasó así a interpretarse como un *déficit* entre lo deseado y lo disponible, *déficit* que el Estado debía resolver.

Desde ese enfoque, nace igualmente el concepto de *Desequilibrio Hidrológico*, basado en un sentido de *“Injusticia de la Naturaleza”* para con los pueblos de las regiones esteparias cuya *discriminación* respecto a los de zonas húmedas, exigiría del Estado la pertinente *rectificación de este “desorden” natural*.

Es de notar que otros bienes naturales como la tierra fértil, tan esencial en las tradiciones agrarias, no han suscitado análogas conceptualizaciones. No se han acuñado términos como “déficit estructural de tierras cultivables” o “desequilibrio agronómico”, ni se ha reivindicado al Estado, desde las comarcas de montaña, el aterrazamiento de las laderas para deshacer este “*desequilibrio*” respecto a las tierras del llano. Sin duda, desde el carácter generalmente privado de la tierra, esa *diversidad orográfica natural* se ha entendido como restricciones naturales de cada territorio, siendo a lo sumo responsabilidad de cada cual darles el tratamiento pertinente.

En otros casos, sin duda la dificultad o imposibilidad tecnológica han dejado fuera de consideración conceptos como “*desequilibrios calóricos*”, “*déficit de montañas esquiables*” o “*déficit de sol en las playas nórdicas*”.

Desde los ejemplos citados, tan sólo pretendo aclarar por contraste, la inconsistencia conceptual de estos términos, desvelando el trasfondo ideológico subya-

cente, actualmente en crisis desde el paradigma del Desarrollo Sostenible.

Una necesaria reconceptualización económica desde el rigor propuesto por la Directiva Marco de Aguas

Resulta contradictoria la prevalencia en el ámbito de la gestión de aguas de términos esencialmente económicos como *demanda*, *oferta*, *déficit* o *excedente*, mientras por otro lado brilla por su ausencia el Análisis Económico. En este sentido impera un sesgo de *mitificación productivista* en materia de aguas, que entra en flagrante contradicción con la ausencia tradicional de estudios propiamente económicos (Arrojo, 1996).

La masiva subvención pública en materia de gestión de aguas superficiales ha inducido graves perversiones conceptuales de las que, sin duda, la más grave es la correspondiente al término “*demanda*” que ha acabado por corresponder más propiamente al concepto de “*requerimiento bajo expectativas de fuerte subvención*”.

En síntesis tales perversiones han desembocado en:

- * Una grave quiebra de la racionalidad y rentabilidad de la inversión pública en materia de grandes infraestructuras hidráulicas (VAN rotundamente negativos en proyectos como Itoiz-Canal de Navarra, Biscarrués-Monegros II, Castrovido-Riegos del Arlanza) (Arrojo *et al*, 1999).

- * Falta de eficiencia técnica en la gestión de las aguas públicas (40% en regadíos; 50% de caudales urbanos sin facturar en muchas ciudades) (Arrojo, 1999) (Estevan, 1999).

- * Crecimiento insostenible de “demandas”, especialmente en la transformación de nuevos regadíos: 1.200.000 nuevas hectáreas previstas en los Planes de Cuenca.

Tal y como exige la nueva Directiva Marco de Aguas, recientemente aprobada en la Unión Europea, es urgente rigorizar el concepto de *demanda* en usos productivos, asumiendo decididamente un nuevo enfo-

que de gestión económica que se base en el principio elemental de la *Recuperación Integra de Costes* (Full Cost Recovery).

En esta línea de racionalidad económica la Unión Europea va más lejos al plantear la necesidad de introducir en el precio o tarifa de las aguas el llamado *Valor de Oportunidad* o de *Escasez*, más allá de la Recuperación de Costes, en lugares o circunstancias en que los requerimientos superen las disponibilidades.

Desde este enfoque el concepto de “*Déficit Estructural*” se desmorona literalmente, ya que el efecto de incorporar el *Valor de Oportunidad* no es otro que el de hacer subir los precios hasta un nuevo punto en el que oferta y demanda se tiendan a equilibrar. Este fenómeno, normal y usual en la gestión de cualquier otro bien económico, es de hecho la clave que permite estabilizar en puntos de equilibrio requerimientos y disponibilidades bajo los correspondientes precios. Esta es la razón por la que resulta inconsistente hablar de *Déficit Estructural* de gasolina o petróleo, al igual que queda fuera de lugar el concepto de *Desequilibrio Petrolero*.

Del Desgobierno a la Insostenibilidad

La situación actual de la gestión de aguas en España es difícil de caracterizar con pocas palabras, dada la amplia variedad de escenarios y realidades existente. Sin embargo hay un concepto geométrico que en este caso resulta útil para caracterizar los perfiles de un conjunto tan complejo y variado de situaciones; se trata del concepto de *envolvente*. Pues bien, esa variedad de situaciones y realidades en materia de gestión de aguas podría decirse que tiene en nuestro país una *envolvente*: la del *DESGOBIERNO*.

En España, al igual que en otros muchos países, se ha desarrollado un doble modelo de gestión, según se trate de aguas superficiales o subterráneas. Estas últimas se han tendido a considerar como privadas, mientras las superficiales se han gestionado bajo Dominio Público en régimen concesional.

A pesar de que en 1985 la nueva Ley de Aguas declaró formalmente bajo Dominio Público el conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, dando coherencia al marco de gestión respecto a la realidad única del ciclo hidrológico, la realidad es que, en parte por indecisión del legislador, y en parte por inercias sociales e irresponsabilidad administrativa, la mayor parte de las aguas subterráneas siguen gestionándose como patrimonios privados.

La política de aguas se ha centrado por parte de la Administración en el ámbito de las aguas superficiales. Sin embargo, y pese a la omnipresencia de términos como *Dominio Público Hidráulico* o *Interés General* en el discurso administrativo, la preponderancia del interés particular sobre el público es, en la práctica, más que frecuente. El control práctico sobre ríos enteros está hoy en las carteras concesionales de las grandes compañías eléctricas, mientras la red de grandes embalses (una de las más densas del mundo) ha permitido repartir la inmensa mayoría de sus caudales regulados en forma de sólidos derechos de uso en manos de regantes y eléctricas.

En un mundo administrativo sumamente cerrado, en el que la transparencia y la participación ciudadana son mínimas, y en el que la influencia de los grupos de presión es tan prevalente, la burocratización e incluso la corrupción tienen campo abonado. En este contexto, hablar de que los ríos y las aguas son públicas, no pasa de ser una formalidad administrativa.

Por otro lado el control sobre el espacio de Dominio Público en torno a los ríos es prácticamente inexistente. La falta de deslinde ha sido la cohartada tras la que se ha escudado la Administración para permitir una generalizada invasión del mismo por intereses privados mientras se mira, hacia otra parte.

Algo similar ha ocurrido con la vigilancia y gestión de vertidos. El propio Libro Blanco reconoce el absoluto fracaso que ha supuesto el Canon de Vertido previsto en la Ley de Aguas (MIMAM-98). Es significativo que, en un escenario de ríos envenenados por sistemáticos vertidos ilegales, y de riberas degradadas por

doquier —el Bajo Segura es al respecto un claro ejemplo—, tan apenas si existen expedientes sancionadores serios en las Confederaciones, ni sentencias judiciales condenatorias por delito ecológico en los juzgados; y ello a pesar de que la mismísima Guardia Civil (SEPRONA), colectivos y ciudadanos hayan cursado miles de denuncias con las correspondientes pruebas. Los indicios de negligencia administrativa, prevaricación y corrupción son en este sentido abrumadores.

En el ámbito de las aguas subterráneas, la forzosa necesidad de cubrir costes por parte del propietario del pozo, tanto en la perforación como en su explotación, ha incentivado una mayor racionalidad y eficiencia en el uso del agua (Llamas, 1999). Nótese que mientras las aguas subterráneas en regadío suelen suponer costes que rondan las 20 pts/m³ a cargo del usuario, los regantes de los grandes sistemas desarrollados por el Estado con aguas superficiales tan apenas si pagan una media de entre 1 y 2 pts/m³.

El hecho de que las aguas subterráneas hayan podido atender la tercera parte de los regadíos actualmente existentes en España, utilizando tan sólo una quinta parte del agua y generando prácticamente el 50% de la producción, prueba que el tan temido criterio del *Recuperación Integra de Costes* (Full Cost Recovery), planteado por la Directiva Marco, no sólo es viable en el regadío español (adecuadamente introducido y gestionado), sino que, cuando menos, ha sido uno de los factores que ha dinamizado su eficiencia (Arrojo, 2000).

Sin embargo, estos incentivos en pro de la eficiencia no han articulado la *inteligencia colectiva de los usuarios*; bien al contrario, el carácter individualista de este modelo de gestión ha desembocado en una gestión insolidaria e insostenible, abocando a procesos de sobreexplotación, degradación y salinización de muchos acuíferos: Castellón, La Mancha, Murcia, Almería, Mallorca, Canarias...

La Ley de Aguas, establece claramente las responsabilidades de la Administración ante dinámicas de sobreexplotación de acuíferos, sin embargo, ésta, en ningún momento ha asumido estas responsabilidades.

Hoy los datos que obran en poder de la Junta de Andalucía estiman en más de 200.000 las hectáreas ilegales de regadío en el olivar (en su mayoría no corresponden a pequeños agricultores). En las zonas más gravemente sobreexplotadas de la cuenca del Segura, como la comarca de Águilas, los datos de los últimos estudios realizados desde la Universidad de Murcia estiman en un 40% los regadíos ilegales o “ale-gales”. En el campo de Dalías (Almería), a principios de los 80 se decretó la prohibición de perforar nuevos pozos; había entonces 9.000 hectáreas bajo plástico, hoy hay 30.000. En los acuíferos 23 y 24 de La Mancha, declarados desde hace años como sobreexplotados, se estima en unos diez los pozos que ilegalmente se perforan diariamente...

Ante esta situación, que ha abierto una espiral de insostenibilidad, la Administración, lejos de asumir sus responsabilidades, ha optado por el camino más fácil políticamente: ofrecer los grandes *trasvases*. Lo que era y es un problema *de gestión*, y más específicamente *de gestión sostenible*, pasa así a enfocarse como un problema *de oferta*, retomando las viejas estrategias estructuralistas.

Sin duda la opción trasvasista es la más cómoda y rentable políticamente, a corto plazo, pero al tiempo encierra una grave irresponsabilidad pues:

- * Induce expectativas de *legalización del expolio*, justificándolo moralmente, incluso con la oferta explícita de una posible “*Ley de Punto Final*”.

- * Induce nuevas espirales de demanda, alimentando un *modelo de desarrollo insostenible*, tanto en el ámbito agrario como urbano-turístico.

- * Promueve graves irracionalidades económicas, como explicaremos más adelante.

- * Supone graves impactos y quiebras sociales-ambientales, alimentando un modelo de desarrollo territorial fuertemente desequilibrado.

El reto del Desarrollo Sostenible en materia de aguas

En lo que hasta hoy es una de las proposiciones

más avanzadas enunciadas por la Administración en España, el Libro Blanco del Agua establece que las llamadas *demandas ambientales*, deben ser consideradas como *restricciones previas al sistema de demandas productivas* existentes o previsibles, lo que equivale a darles un carácter prioritario respecto a todas las demás utilidades, a excepción del uso de boca (MIMAM-98).

La experiencia de la última década en California marca un precedente práctico al respecto muy significativo. En 1976, ante la degradación y salinización creciente de las aguas y de la salud ambiental del Delta de San Francisco, el propio *State Water Resources Control Board* (SWRCB) que en 1958 había dado las licencias de bombeo y trasvase de aguas del Delta al *Central Valley Project* (CVP), y que en 1967 había hecho lo propio con el *State Water Project* (SWP), se replanteó estas concesiones. En 1978 se redujo en un 10% dichas concesiones en lo que se conoce como la *Decisión 1485* que literalmente plantea, como criterio base para restituir las concesiones de bombeo y trasvase originales desde el Delta:

“...que la calidad del agua del Delta deberá ser al menos tan buena como lo sería si no se hubieran desarrollado el CVP y el SWP. En otras palabras, el CVP y el SWP deberán operar de forma que consigan reestablecer el escenario que había “sin proyectos...”.

Tras polémicos debates, y juicios ante las diversas instancias judiciales, en 1986 el Tribunal Supremo acabó por imponer la validez de la *Decisión 1485* en lo que se conoce como la *Decisión Racanelli*, por el juez que la dictó.

Durante las dos últimas décadas éste ha sido el reto central de la gestión de aguas en California: devolver a los ecosistemas estuarinos y litorales marinos de San Francisco el nivel ecológico natural, como clave para poder disponer de más agua en los usos productivos.

De esta forma se rompió en EE.UU. el tradicional enfoque, vigente todavía en España, según el cual preservar los ecosistemas implicaría sacrificar la disponibilidad de recursos. Tal visión miope no ha hecho sino

estrechar, de hecho, a medio plazo, esa disponibilidad de recursos con la calidad adecuada.

En 1968 el Congreso de los EE.UU. aprobó la ley conocida como *National Wild and Scenic River Act* para preservar en su estado y régimen natural los últimos ríos o tramos de ríos que representaban un patrimonio de alto valor en razón de sus características “escénicas, recreativas, geológicas, de fauna piscícola y vida salvaje, históricas, culturales y otros valores similares...”. Sobre esta base la propia ley argumentaba su razón de ser como sigue: “...que la política establecida a nivel nacional de construcción de presas y otras infraestructuras en adecuados tramos de ríos de los Estados Unidos necesita ser complementada por otra política que preserve otros ríos y tramos de ríos seleccionados, en sus regímenes y condiciones naturales, de forma que se proteja la calidad de sus aguas y conseguir otros objetivos nacionales de preservación de la vida...”.

De esta forma en EE.UU., los principales ríos caracterizados hasta los 70 como *excedentarios*, sobre los que pesaban proyectos de trasvase hacia el área de Los Angeles, pasaron a ser preservados como patrimonios hidrológicos naturales en los que las aguas pasaron a tener como “primer uso útil”, el “uso más útil que pueden tener hoy para los Estados Unidos de América”, según se dice literalmente en la Ley: *SER RIO*. (Arrojo et al, 1997).

Desde este tipo de enfoque, diseñar un modelo de gestión sostenible de los recursos hídricos exige tomar en cuenta renovados criterios.

1. El nuevo paradigma de *sostenibilidad* refuerza el contexto territorial de la Cuenca como marco de gestión. Desde este enfoque, los trasvases intercuenca, especialmente si son de envergadura, entran en flagrante contradicción con este enfoque. Por ello, en la medida que suponen graves modificaciones del orden hidrológico natural, deben ser estudiados con suma prudencia.

2. Agua y territorio, pasan a integrarse, haciendo imposible diseñar un modelo de gestión sostenible de

los recursos hídricos sin integrarlo en un modelo de ordenación territorial coherente con la perspectiva del Desarrollo Sostenible.

3. El principio de que *las facturas suelen pagarse aguas abajo* hace de la preservación de los ecosistemas estuarinos, deltáicos y litorales un test clave de sostenibilidad a nivel de cuenca. El hecho, por otro lado, de que en estos ecosistemas se desarrolle la máxima riqueza en biodiversidad, tanto en cauces y entornos ribereños como en la plataforma litoral, hace especialmente relevante este referente.

4. Más allá de parámetros de calidad físico-química, la preservación de hábitats, incluyendo riberas y humedales, exige la integración de parámetros biológicos a la hora de hablar de la calidad. En este contexto la preservación de la biodiversidad autóctona de cada cuenca frente a la invasión de especies exóticas pasa a ser relevante.

5. Los factores geodinámicos pasan a ser elementos importantes a considerar: transporte y sedimentación de sólidos, gestión de sedimentos en embalses, sostenibilidad de flujos sólidos en deltas y costas, gestión no estructural de avenidas, funcionalidad de las zonas de inundación, humedales y bosques de ribera (González del Tánago, 1999).

6. Los valores socioculturales ligados a los ríos y sus ecosistemas deben integrarse en el análisis. Empezando por el valor de las poblaciones y comunidades asentadas desde hace cientos o miles de años en las riberas fluviales, los patrimonios arquitectónicos de esos entornos (molinos, puentes etc...), e incluso los valores simbólicos y estéticos que dan personalidad e identidad a territorios, paisajes y por tanto a sus gentes.

Como puede verse, hablar de gestión sostenible de las aguas va mucho más allá de la gestión de caudales desde una perspectiva productivista e ingenieril. Los tradicionales conceptos de *déficit* y *excedente*, o frases como “*esas aguas que se pierden en el mar...*”, saltan por los aires ante la necesidad de valorizar y preservar estos patrimonios y funciones desde un nuevo modelo de gestión.

La Directiva Marco recoge buena parte de estos enfoques y criterios, imponiendo una urgente revisión de conceptos y objetivos de la planificación. En concreto la Directiva presenta, más allá de la exigencia de un nuevo enfoque financiero y económico del que ya hemos hablado, un nuevo enfoque de valoración ambiental que podemos sintetizar en dos puntos.

1. Introduce como objetivo ambiental básico *la recuperación del Estado Ecológico* de ríos, lagunas y humedales, desde criterios biológicos y no simplemente físico-químicos (Prat *et al*, 2000).

2. Plantea como unidad de gestión la Cuenca Hidrográfica, *superando fronteras políticas*, e incorporando en dicho marco *estuarios, deltas y plataformas litorales marinas*.

En la nueva Directiva el objetivo de fondo que pasa a presidir el concepto de *Interés General* es el *Desarrollo Sostenible*, centrando las nuevas claves en la *gestión de la demanda* y la *conservación de la calidad* desde la preservación de los ecosistemas asociados al medio hídrico continental.

Los impactos socio-ambientales de los trasvases desde la perspectiva de la Directiva Marco

Los proyectos de grandes presas en Itoiz, Recreo de Yesa, Biscarrués, Jánovas, Santaliestra y Rialp en el Pirineo (en diversos estados de tramitación o construcción), suponen un asalto en toda regla a los últimos patrimonios fluviales pirenaicos. Tales embalses se justifican formalmente, ante las opiniones públicas respectivas de Navarra, Aragón y Cataluña, como obras necesarias para transformar en regadío cientos de miles de nuevas hectáreas en el Valle del Ebro. Sin embargo, los Planes Nacionales de Regadío, siguiendo las directrices de la política agraria europea, rebajan tales previsiones a menos de 30.000 ha. El propio Proyecto de Plan Hidrológico Nacional reconoce explícitamente la inviabilidad económica de tales transformaciones. Dicho en otras palabras, en lo que sin duda constituye una gran maniobra de fraude a la opinión

pública, tales embalses articularán la regulación plurianual que garantice la posibilidad material de transferir los 1.000 hm³ que requieren los trasvases previstos.

La opción de Mequinenza como pieza clave de regulación de los trasvases, si bien técnicamente es consistente, pierde sentido en la medida que se están acelerando las grandes presas citadas, especialmente si tomamos en consideración que en Mequinenza no sólo habría que expropiar a buen precio los derechos de turbinado, sino la propia presa, que es propiedad privada de ENHER.

Los nuevos embalses pirenaicos suponen en algunos casos la expulsión por la fuerza de sus casas y pueblos de cientos de personas (400 en el caso de Yesa) (Arrojo *et al*, 1999), la desarticulación de comarcas que hoy florecen en su desarrollo gracias al turismo rural y de aventuras, al tiempo que supondría acabar con los últimos ríos salvajes y patrimonios fluviales de un valor natural y paisajístico excepcional (zonas declaradas como LIC en la Red Natura 2000). Jánovas en las puertas de Ordesa (García *et al*, 1998), Biscarrués junto a los Mallos de Riglos (Fernández *et al*, 2000) son algunos ejemplos. Como muestra del grave conflicto social que tales proyectos están suponiendo en la zona, se ultima ya una Huelga General del Pirineo Central sin precedentes en la historia de la Unión Europea.

El Delta del Ebro por su parte, como todos los deltas del mundo, se ha formado a lo largo de cientos y miles de años con los sedimentos que el río ha arrasado hasta su desembocadura.

Durante el siglo XX, la construcción de decenas de grandes presas en la Cuenca y la gran detracción caudales para regadío han modificado el equilibrio en la desembocadura entre sedimentos y erosión marina litoral. Especial trascendencia ha tenido en este proceso de colapso del flujo sedimentario la construcción del embalse de Mequinenza, por ubicarse en un tramo bajo de la Cuenca. De hecho, desde finales del XIX han disminuido los sedimentos en más del 99%, pasando de 25 millones de toneladas/año a 0,15

toneladas/año (Prat *et al*, 1999). Este hecho, unido al fenómeno de progresivo hundimiento (subsistencia) del Delta y a la subida del nivel de los mares por cambio climático, ponen hoy en peligro la existencia misma de este extraordinario paraje en el que viven, y del que viven, 50.000 personas.

Los deltas suelen encerrar privilegiados patrimonios de biodiversidad. En concreto, el Delta del Ebro se valora como el segundo enclave en riqueza biológica de la Península Ibérica, tras Doñana (otra área deltáica).

Hoy, la drástica disminución de caudales, con la creciente penetración de la *cuña salina* en el cauce y en los acuíferos, junto con la creciente degradación por contaminantes químicos, eutrofización y salinización de esos caudales, están generando condiciones que se diagnostican como graves e incluso extremas en momentos de estiaje. La ausencia de procesos de crecida que limpien periódicamente el cauce agrava esa situación. Los estudios biológicos diagnostican un serio riesgo de llegar situaciones de colapso por combinación de los diversos fenómenos de degradación en curso (eutrofización, salinización, contaminación química, escasez de caudales...). (Prat *et al*, 1999).

Cuando se habla de la crisis del Delta se suele pensar en los ricos arrozales de la zona, o en su Parque Natural. Sin embargo, poca gente sabe que el marisqueo constituye un recurso económico de análoga envergadura a la de los citados arrozales. Pues bien, esta riqueza es de hecho la más vulnerable. Los citados trasvases podrían desencadenar impactos graves, no sólo sobre las riquezas marisqueras y pesqueras del entorno, sino sobre zonas del litoral mucho más amplias.

Si bien estos impactos sobre las plataformas marinas no están todavía debidamente estudiados en el caso del Ebro, los estudios existentes sobre otros casos, como el del Nilo con caídas en las pesquerías de sardina del 80% en todo el Mediterráneo Oriental, más allá de los graves impactos sobre las arenas litorales de playas turísticas, han impuesto en la U.E. nuevos criterios

de vigilancia y valoración de este tipo de impactos, todavía inexplorados.

La masiva detracción de caudales que supondrían estos trasvases, entra en patente contradicción con la exigencia de la Directiva de recuperación del *Estado Ecológico del Delta* y de garantía de su sostenibilidad. En este sentido, hablar de *caudales excedentarios* resulta, cuando menos, imprudente.

Algunas consideraciones económicas

Desde la provisionalidad de una rápida lectura a la memoria económica del Plan Hidrológico Nacional propuesto, disponible tan sólo desde hace unos pocos días, se pueden avanzar graves y serias inconsistencias económicas que cuestionan la pretendida voluntad de asumir el criterio de la *Recuperación Integral de Costes* demandada por la U.E. en la Directiva Marco.

a) Se eluden los principales costes de regulación

Como se reconoce formalmente en el Plan, es preciso un importante esfuerzo de regulación que exige la construcción de nuevos embalses o el uso del actual embalse de Mequinenza. En la práctica el Gobierno ha priorizado la construcción de esos embalses desde el pretexto de satisfacer las demandas de unos nuevos regadíos en la Cuenca que el propio Plan considera *inviabiles*, siguiendo los criterios del Plan Nacional de Regadíos. Desde este regate de *pura conveniencia política*, el Gobierno dice optar por Mequinenza pero, a la hora de la verdad, ni siquiera considera costes de expropiación de tales derechos hidroeléctricos.

b) No se contabilizan costes energéticos en alza

Hacer hoy un análisis coste-beneficio a 50 años y no introducir escenarios en los que se contemplen drásticos crecimientos de los costes energéticos resulta inaceptable.

c) Los costes presupuestados están sesgados a la baja

En un proyecto de tal envergadura la pertinente

prudencia y el más elemental realismo exigen tomar como estimaciones presupuestarias las bandas más pesimistas del margen plausible. Por contra los presupuestos están sesgados sistemáticamente a la baja. Este enfoque es frecuente en las estimaciones presupuestarias de la Administración, lo que conlleva, especialmente en grandes proyectos, a desviaciones en la ejecución de obras que superan el 100% del presupuesto.

En este sentido un contraste con el proyecto de Trasvase Ródano-Barcelona resulta oportuno. En el mismo se prevé la transferencia de 450 hm³/año hasta el área metropolitana barcelonesa. Es de notar que, por las características del Ródano, tanto en su caudal medio (1.700 m³/seg), como en la regularidad de su régimen (caudal medio en estiaje 600 m³/seg), no se necesitarían nuevas regulaciones de entidad, aparte de las que se prevén en tránsito. La distancia a cubrir por el acueducto sería de unos 309 km en total.

En el propio proyecto se estiman diversos escenarios en los que los costes unitarios sobre el metro cúbico servido en alta dependerían de las demandas que en cada momento se generaran realmente, estimándose unos costes en alta que se sitúan entre 102 pts/m³ y 143 pts/m³ (Generalitat, 1996) (Barraqué, 1999).

Volviendo al caso de los grandes trasvases del Ebro-Sudeste, son de notar las siguientes diferencias respecto al Ródano-Barcelona:

- * El caudal medio del Ebro en su desembocadura es muy inferior al del Ródano, del orden de unos 396 m³/seg (1/4 del Ródano); y, sobre todo, su régimen es mucho más irregular, con estiajes mucho más severos, por debajo de 100 m³/seg (1/6 del Ródano).

- * La situación ambiental actual del Delta del Ebro y su plataforma litoral, así como su fragilidad ecológica, se pueden caracterizar como graves, y en ocasiones incluso críticas.

- * La mayor irregularidad del Ebro exigiría mayores esfuerzos de regulación (nuevos embalses pirenaicos).

- * Las distancias, problemas orográficos y complejidad del sistema, serían muy superiores; en particular

la distancia de Tortosa a Almería es de unos 700 km (más del doble que en el Ródano-Barna).

- * Las necesidades de regulación en tránsito serán muy superiores.

- * Las pérdidas por evaporación serán también superiores, dadas las condiciones climáticas de la Costa Valenciana y del Sureste.

Por todo ello concluir que *los costes por metro cúbico entregado en Almería no bajarán de 150 pts/m³* resulta una estimación conservadora.

d) La presentación en bloque de este proyecto impide detectar los costes marginales y dimensionarlo adecuadamente

La presentación del proyecto como un sólo bloque, promediando las estimaciones de costes, en lugar de presentar un proyecto modular desglosando los costes de cada tramo, impide hacer un análisis racional de la dimensión del proyecto y detectar cuando los costes marginales superan a los beneficios marginales, al tiempo que impide dimensionar los costes que realmente tendrán que asumir los usuarios en cada tramo.

e) No se valoran con rigor los costes de compensación

A los costes de estas infraestructuras y gastos de gestión de los sistemas, habría que añadir el capítulo de pretendidas “compensaciones”, tal y como reconoce el propio Plan. Sin embargo el cálculo de las mismas es arbitrario y no se fundamenta en estudios o referencias concretas, como serían los costes de reposición de los impactos o las propias ofertas de “compensación territorial” que se están ofreciendo públicamente. En el caso general de Aragón, según avanzan los días las cifras suben a cantidades que se sitúan ya en el billón y medio de pesetas en inversiones.

En el caso del Pirineo, los llamados planes de restitución territorial, suponen, sobre el papel, la promesa de decenas de miles de millones que, aún encareciendo seriamente los proyectos, están todavía lejos de compensar, siquiera en sus repercusiones económicas,

los impactos ambientales y sociales a medio y largo plazo, tal y como demuestra, en el caso de Biscarrués, una tesis doctoral recientemente leída en la Universidad de Zaragoza (Fernández *et al*, 2000).

En lo que se refiere a estas compensaciones, teorizadas y aceptadas en el Plan Hidrológico Nacional, debería clarificarse si todo este conjunto de inversiones son rentables y razonables en sí mismas, en cuyo caso no deberían ser caracterizadas como tales, sino simplemente realizarse en cualquier caso, o si realmente son propiamente compensaciones por daños causados por esas infraestructuras, en cuyo caso deberían sumarse al capítulo de costes asignables a las mismas. Caso de que tales inversiones induzcan costes de oportunidad al forzarse sobre escenarios no óptimos, tales costes deberían considerarse en el análisis Coste-Beneficio, cuestión que en absoluto se aborda siquiera.

f) Los costes que impone la mala calidad de las aguas para usos urbanos

La calidad de las aguas del Ebro en su desembocadura es mala, tal y como referencia el Plan Hidrológico de la propia Cuenca (CHE-98), lo que exigiría su tratamiento y depuración en caso de pretender destinarse a usos urbanos. Estos costes pueden llegar a ser muy relevantes y sin embargo no están contabilizados adecuadamente.

g) Confundir Beneficio con Valor Añadido Bruto supone un fraude metodológico

En el Análisis Coste-Beneficio medir los beneficios esperables en base a los Valores Añadidos Netos, supone considerar el trabajo como beneficio y no como coste del proceso productivo. Tal enfoque supondría compensar los costes generados, no sólo mediante los beneficios netos, sino también mediante los salarios pagados. Obviamente esto supone un error metodológico tan grave e inaceptable que no admite alegación de ignorancia, suponiendo por tanto un claro fraude.

h) Se sobrevalora el valor de oportunidad de los caudales urbanos

Se pretende asumir como valor de oportunidad de las aguas urbanas, el coste de desalación de aguas de mar (MIMAM-2000). Tal enfoque es radicalmente incorrecto, ya que el valor de oportunidad debe buscarse a través de la alternativa más barata disponible. En este caso (incluso por ley) los caudales disponibles más baratos son los dedicados al regadío en las inmediaciones de cualquier ciudad. En estos momentos buena parte de esas aguas son subterráneas, generalmente privadas, y por ello disponibles en el mercado (aún sin considerar la reforma de la ley de aguas), lo que nos permite estimar con bastante fiabilidad su valor de oportunidad mediante los precios de esos mercados, generalmente por debajo de las 30 pts/m³ lo que hace que el valor de desalación (en torno a 100 pts/m³) resulte sobredimensionado como valor de oportunidad.

i) No se prevé con realismo el escenario de futuro en lo referente a los mercados agrarios para productos mediterráneos

Presuponer que en los próximos 50 años se van a mantener a raya las exportaciones de cítricos y productos mediterráneos producidos en el Magreb y Turquía es simplemente ignorar la realidad de liberalización de mercados que se anuncia como imparable. Ello exigiría la consideración de un escenario más realista en el que los beneficios se verán seriamente afectados a la baja.

En resumen, el Estudio Económico presentado por el Ministerio adolece de graves errores metodológicos, sesga costes a la baja y elude diseñar escenarios de futuro realistas. Por todo ello, y a falta de profundizar en el estudio de la memoria económica, serían necesarios tiempo y medios para desarrollar los pertinentes debates económicos que permitan afinar y hacer fiable la valoración económica de los trasvases que se proponen.

Bibliografía

- ARROJO, P. (1996) "Dónde estamos y qué se puede aportar hoy desde la ciencia económica a la gestión hidráulica". Cuadernos Aragoneses de Economía, 2ª época, Vol. 6, nº 1, pp. 5-14.
- ARROJO, P.; NAREDO J.M., (1997a) La gestión del agua en España y California. Editado por Bakeaz. Bilbao.
- ARROJO, P., BERNAL, E. (1997b) "Los regadíos en el Valle del Ebro". En J.M. Naredo y J.López (eds.) La gestión del agua de riego. Madrid, Fund. Argenteria y Visor, pp. 139-183.
- ARROJO, P., GRACIA, J.J., MARTINEZ GIL, F.J. (1997) "Embalse de Santaliestra: un impacto social y ambiental para Aragón". Colección "Informes Nueva Cultura del Agua" nº 2. Bakeaz (eds). Bilbao.
- ARROJO, P.; GRACIA, J.J.; MARTINEZ GIL, F.J.; NICOLAU, J.M.; SOLANA, M.(1999) Recreimiento de YESA: el abastecimiento a Zaragoza como excusa para los trasvases. Bilbao, Bakeaz, serie "Informes" nº 7.
- ARROJO, P.; BERNAL, E. y FERNANDEZ, J. (1998) "El Análisis Coste/Beneficio y su vigencia relativa en la valoración de grandes proyectos hidráulicos". En: P. Arrojo y J. Martínez Gil (eds.) El Agua a debate desde la Universidad: por una Nueva Cultura del Agua, Fundación Fernando el Católico-CSIC; pp. 291-313.
- ARROJO, P. (1999) "El valor económico del agua". CIDOB d'Afers Internacionals, nº 45-46; Fundació CIDOB - Abril 99; pp. 145-169.
- ARROJO, P. (2000) "Valoración de las aguas subterráneas en el marco económico general de la gestión de aguas en España" publicado en la serie B de Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas por la Fund. Marcelino Botín-Madrid, mayo del 2000.
- BARRAQUE, B. (1999) "Les demandes en eau en Catalogne: perspective européenne sur le projet d'aqueduc du Rhone à Barcelone. Rapport final" Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés-UPRES-CNRS.
- CHE (1998). Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro. Ed. Confederación Hidrográfica del Ebro (MIMAM). Zaragoza.
- DIAZ MARTA, M. (1999). "Evolución de las políticas hidráulicas españolas desde la Ilustración hasta nuestros días". En El agua a debate desde la Universidad, en: P. Arrojo y J. Martínez Gil (eds.) El Agua a Debate desde la Universidad: por una Nueva Cultura del Agua, Fundación Fernando el Católico-CSIC; pp. 67-79. Zaragoza.
- FERNANDEZ, J.; ARROJO, P. (2000) Biscarrués-Mallos de Riglos: inundación o modernización, Zaragoza, Egido Editorial.
- FOX KELLER, E. (1991) "Reflexiones sobre género y ciencia", Edicions. Alfons el Magnum-Generalitat Valenciana. Valencia.
- GRACIA, J.J.; SANTOS, J.M.; GUERRERO, J.; ARROJO, P.; MARTÍNEZ GIL, F.J. (1998) Embalse de Jánovas: la lucha por la dignidad a los pies de Ordesa. Bilbao, Bakeaz, serie "Informes" nº 6.
- GENERALITAT de CATALUNYA (1996) "Estudi de transvasament d'aigua Roine-Catalunya". Dept. de Política Territorial i Obres Públiques.
- LLAMAS, R. (1999) "La Inserción de las aguas subterráneas en los sistemas de producción". En P. Arrojo y J. Martínez Gil (eds.) El Agua a Debate desde la Universidad: por una Nueva Cultura del Agua, "Primer Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas" celebrado en Zaragoza, 14-18 Septiembre-1998; Fundación Fernando el Católico-CSIC. Zaragoza, pp. 79-102.
- MARTINEZ FERNANDEZ, Julia (2000). Gestión Alternativa del Agua en la Cuenca del Segura. Editado por Ecologistas en Acción. Madrid.
- MIMAM (1998). El Libro Blanco del Agua. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- MIMAM (2000). Plan Hidrológico Nacional. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

PEREZ PICAZO, M.T. (1999) "Gestión del agua y complicidad en el sureste de España, siglos XIX y XX". En El agua a debate desde la Universidad. En: P. Arrojo y J. Martínez Gil (eds.) El Agua a Debate desde la Universidad: por una Nueva Cultura del Agua, Fundación Fernando el Católico-CSIC; pp. 649-669. Zaragoza.

PRAT, N., IBAÑEZ, C., CANICIO A., Curcó, A. (1999) "El Delta del Ebro, un sistema amenazado". Colección Nueva Cultura del Agua. Bakeaz (eds). Bilbao).

PRAT, N.; MUNNE, A.; RIERADEVALL, M; BONADA, N. (2000). "La determinación del Estado Ecológico de los ecosistemas acuáticos en España". Ponencia presentada a las Jornadas sobre Aplicación de la futura Directiva Marco del Agua en España: Retos y Oportunidades, organizadas por el Instituto Internacional de Derecho y Medio Ambiente -IIDMA. Madrid-Enero-2000.

Puesta en escena de cauces fluviales ocultos mediante la investigación geotécnica

■ **Juan Carlos Hernández del Pozo; Antonio Menéndez Ondina**

Universidad de Granada

■ **Isidro Ocete Ruiz**

Geotécnica del Sur, S.A.

En esta comunicación se aporta un sistema fiable, económico y de técnica extendida que permita utilizar un método penetrométrico para la localización de zonas de diferente comportamiento en cuanto a la penetración y su aplicación a la detección de zonas de naturaleza antrópica, como es el caso de antiguas cuencas aluviales parcialmente rellenas por la acción humana, detectando y localizando el primitivo cauce fluvial.

Históricamente la gran mayoría de las ciudades se han situado en las proximidades de, al menos, un río que con el devenir del tiempo ha alterado su cauce inicial, encontrándose en la mayoría de los casos oculto.

Para centrar el estudio se ha elegido el río Beiro que discurre por la capital granadina; Ciudad *Nasri* de los tres ríos. La zona que nos ocupa se sitúa hacia el Oeste de la capital y comprende todo el tramo del Río Beiro que se encuentra en la actualidad embovedado.

Marco geográfico y geológico

La provincia de Granada se sitúa al Sur de España, dentro de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Su capital se enclava aproximadamente en el centro geo-

gráfico de la provincia y alcanza una población cercana a los 250.000 habitantes.

Desde un punto de vista geológico, Granada se englobada a grandes rasgos, dentro del dominio de las Cordilleras Béticas y más concretamente sobre materiales pertenecientes a la Zona Subbética. Estos se caracterizan por ser de origen sedimentario, con edades comprendidas entre el Triásico (de 195 a 230 millones de años) y el Mioceno Inferior (de 5 a 22.5 millones de años), posteriormente plegados durante la Orogenia Alpina.

El conjunto constituye lo que se ha dado en llamar la Depresión de Granada, donde podemos diferenciar una secuencia tipo constituida fundamentalmente por calizas y margas, con pequeñas cantidades de areniscas. Sobre estos materiales y situándose hacia los tramos más superficiales, aflora la serie perteneciente al Neógeno (22.5 millones de años), que forma parte también de la Depresión de Granada y sobre la cual se enclava dicha localidad.

Los materiales característicos que constituyen esta serie son gravas, arenas, limos y arcillas, junto con los pertenecientes al Cuaternario (1.8 millones de años

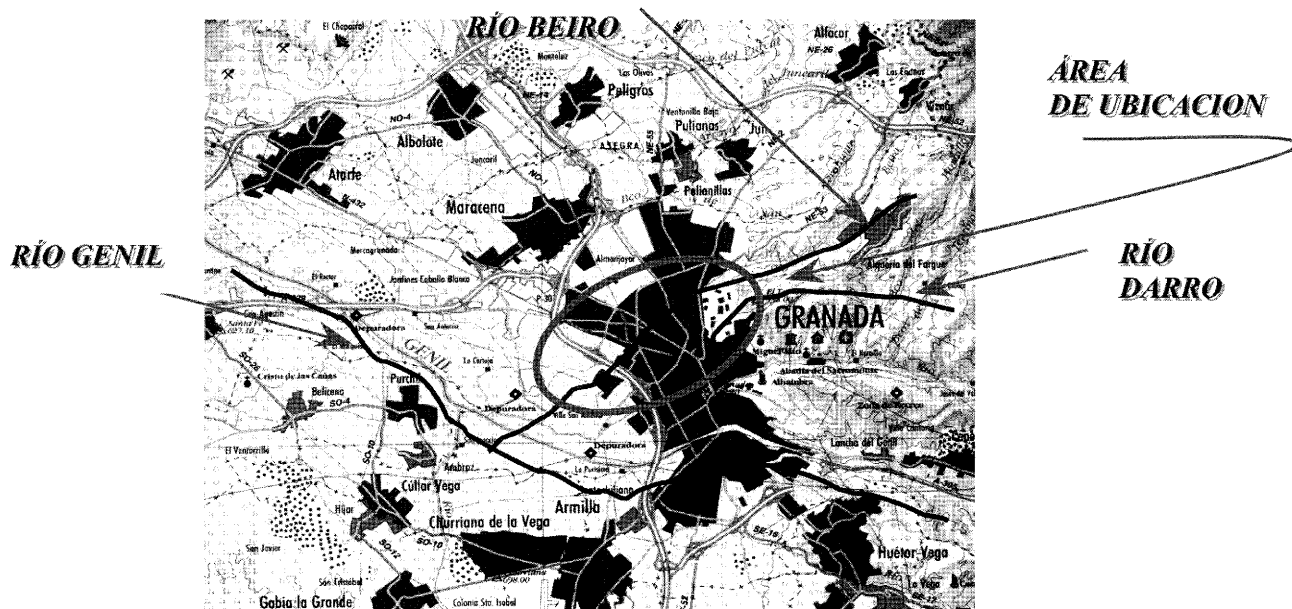


Figura 1. Situación del área de estudio.

hasta la actualidad), depositados por los Ríos Genil, Darro y Beiro, a su paso por la ciudad, dando lugar a los rellenos aluviales típicos de esta zona.

Marco de técnica de investigación

No existe la menor duda que la utilización de un método como el que se propone debe de estar basado en un extenso conocimiento de la geotécnica de la zona que inicialmente haya permitido definir la secuencia estratigráfica con una razonada exactitud. Esta solo puede venir avalada por un importante número de trabajos de campo que pongan de manifiesto la existencia del problema y la posibilidad de utilizar un método como el propuesto.

Este sistema solo podrá ser utilizable cuando la superficie que se pretende detectar defina el contacto entre dos materiales de características geotécnicas bien diferenciadas. Esta desigualdad deberá presentarse en el grado de compacidad de ambos materiales.

Los ensayos de campo que así son utilizables son los siguientes: Penetración Dinámica continua, Penetrómetro estático, S.P.T. y Extracción de muestra inalterada.

No debemos entender estos ensayos desde un punto

de vista diferenciado sino como directamente interrelacionados ya que desde un punto de vista mecánico, podremos pasar mediante ecuaciones de equivalencia de uno a otro de un modo fácil y directo.

Los ensayos propuestos, pueden dividirse en dos grupos: dinámicos y estáticos. Entre los primeros debemos englobar la penetración dinámica, el ensayo S.P.T. y la extracción de muestra inalterada, en donde la penetración consiste en discernir el grado de compacidad, conocidos los golpes necesarios para realizar una determinada penetración. Los ensayos estáticos o “cuasiestáticos” consisten en medir la resistencia a la penetración de modo que los efectos dinámicos resulten prácticamente despreciables.

El método que aquí se propone es extremadamente fiable cuando se pretende determinar la profundidad a la cual aparece un estrato o nivel muy resistente que se encuentra bajo otro de resistencia netamente inferior. En el caso menos diferenciador su interpretación es más difícil y debe de estar inicialmente avalada por un profundo conocimiento de la zona y un extendido estudio estadístico, que haya definido previamente lo que fijamos como el “golpeo de tránsito o paso” de un nivel a otro. Este golpeo de tránsito informará de la existencia de la zona de incertidumbre donde transita-

mos de un nivel a otro, siendo imposible discriminar dentro de esta zona de “sombra” si nos encontramos en el nivel resistente o no.

Modelo de aplicación

La sistemática de trabajo propuesta es de neta aplicación al caso de redes fluviales antiguas que han modificado su trazado a lo largo del tiempo y que actualmente se encuentran ocultas por el entramado urbano. En general el esquema de trabajo habrá de funcionar con garantía cuando el sustrato de la zona presente un grado de compacidad elevado y los rellenos del brazo aluvial que se pretende definir se encuentren cubiertos por materiales recientes.

Toda la teoría planteada ha sido aplicada al caso concreto en la Ciudad de Granada y puntualmente al Río Beiro. Este río cruza la ciudad granadina desde el Noreste hacia el Suroeste, llevando la dirección de este último. Se encuentra encauzado y cubierto, desde los años 60, en una longitud aproximada de 2.500 m. Hoy día este mal llamado río, transporta muy poco caudal de agua.

La inquietud de estudiar este cauce nace a partir de una serie de datos que nos lleva a esta investigación y que detallamos a continuación:

a. Existencia de importantes niveles de materiales poco competentes en las zonas que definen el área de influencia del río. Estos materiales vienen definidos por la existencia de alternancias de suelos finos, principalmente arcillas y arcillas limosas con intercalaciones granulares, que no se detectan en ningún sector del resto de la ciudad.

b. Bajo los suelos referidos se detectan materiales profundos netamente granulares mucho más competentes.

c. Observación de agrupaciones de zonas urbanas afectadas por importantes patologías en la edificación, que se localizan en zonas próximas al Beiro.

A partir de estas consideraciones se pueden aportar las siguientes estimaciones:

a. Los materiales de relleno deben de corresponder con suelos de carácter fluvial procedentes del arrastre de los materiales erosionados por el río en cuestión y por suelos antrópicos.

b. Como cabría esperar estos suelos son únicos con respecto al resto de la ciudad, estando asociados a los arrastres del Beiro.

c. Bajos estos se localizan los materiales propio del sustrato de la ciudad en este sector, estando constituidos por arenas y gravas, presentando un notable incremento de la compacidad referido a los suelos superiores.

d. Sería lógico pensar que las patologías observadas en las edificaciones aludidas puedan estar directamente relacionadas con la existencia de los rellenos referidos.

Nos encontramos en este momento con una serie de estimaciones y consideraciones que permiten el uso factible de los ensayos de penetración al objeto de determinar cual sería la superficie original de la zona que nos ocupa.

Como inicio de cualquier estudio se genera un plano de ubicación de la zona que se pretende trabajar, del área que sitúa el río y sus márgenes. Dicho sector ocupa una franja de 3.000 x 2.250 m donde se han ubicado todos los trabajos, realizados por la empresa Geotécnica del Sur, S. A. quien nos ha suministrado los datos.

Con posterioridad se han situado todos los puntos de información referidos en dicha base gráfica. Los datos incluidos hacen referencia a 46 estudios geotécnicos, que engloban a un total de 190 sondeos, lo que equivale a aproximadamente 2.800 m perforados, y aproximadamente 35 penetraciones dinámicas continuas. Igualmente los ensayos de S. P. T. y de extracción de muestras inalteradas, han sido del orden de 800.

Todos estos datos equivale a decir que se ha realizado 1 perforación cada 32.000 m, o lo que es lo mismo, que cada perforación se distribuiría en cuadrículas homogéneas de 180 x 180 m.

Entendemos que con esta distribución los puntos

conocidos son muy elevados permitiendo un conocimiento, si no exhaustivo, al menos muy detallado.

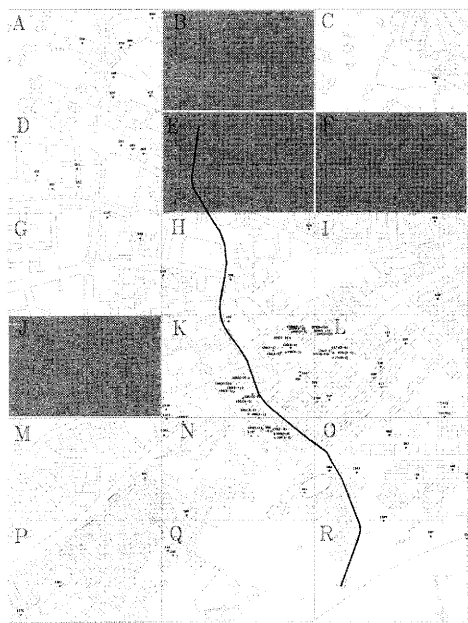


Figura 2. Cuadrícula de la zona estudiada y relación de los puntos de información. En tonos naranjas se han representado las cuadrículas exentas de información o vacías. Igualmente se ubica el trazado actual, encauzado y cubierto del Río Beiro.

En este gráfico se ha dividido la zona de estudio en cuadrículas de 750 x 500 m obteniéndose de este modo un total de 18 sectores que han sido designados alfabéticamente. En tonos naranjas se definen las cuadrículas exentas de información, que habrán de ser consideradas con extrema cautela, habiendo de procurarse que estas cuadrículas vacías estén rodeadas por otras llenas.

En general, y dado que vamos a trabajar sobre valores de golpeo hemos usado el valor del ensayo S. P. T. o “N”, transformando cualquier otro valor obtenido a este modelo. Sobre la base de nuestra experiencia, hemos de optar por un valor de N que estimemos será el paso de los rellenos al sustrato generalizado de la zona.

Hemos observado del estudio de gran número de testigos de sondeo, que el valor 25-35 indica lo que hemos definido anteriormente como golpeo de tránsito o paso, a partir del cual se puede afirmar que nos encontramos en la profundidad competente o base de la cuenca fluvial del Río Beiro.

Con estos datos se ha elaborado de un plano y su correspondiente simulación de superficie que ha puesto de manifiesto una visión tridimensional de la posible cuenca, rellena en la actualidad. Los modelos responden a modelos matemáticos impuestos para la simulación de superficies mediante sistemas informáticos.

Para conseguir este cometido, se ha elegido inicialmente una representación gráfica bidimensional que facilita una visión clara por la similitud con cualquier plano topográfico de uso cotidiano. La representación tridimensional denota de una forma evidente las zonas de mayor espesor de relleno, donde se ha sobrepuesto un esquema del área estudiada de la Ciudad para disponer la perspectiva de relieve y la de alturas del sustrato de la zona.

Obviamente los resultados, y sus representaciones obtenidas son el producto directo de una interpolación matemática a partir de los datos puntuales conseguidos y debidamente ubicados. Esta situación genera zonas exentas de información situadas entre áreas densamente referenciadas; esto ha hecho necesario la definición de tendencias entre estas áreas de información, tendencia ésta que ha sido necesario introducir de una forma manual al objeto de definir el plano definitivo de profundidad del sustrato o de la primitiva cuenca.

En este plano se ha representado la profundidad a la cual se localiza el sustrato competente de la zona, definido por isolíneas de igual profundidad. La representación tridimensional de los datos obtenidos nos permite definir la primitiva cuenca del Río Beiro y por ende conocer a priori las zonas de mayor potencia de rellenos y todas las consideraciones geotécnicas que esto puede acarrear.

Lo primero que nos llama la atención de estos planos es la importante cuenca definida (aprox. 2 x 106 m), por lo cual hemos de suponer inicialmente que los caudales aportados por dicho río debieron ser mucho más importantes que los que hoy se observan, pudiendo considerarse que debió de ser, si no el principal, uno de los ríos más importantes de la zona.

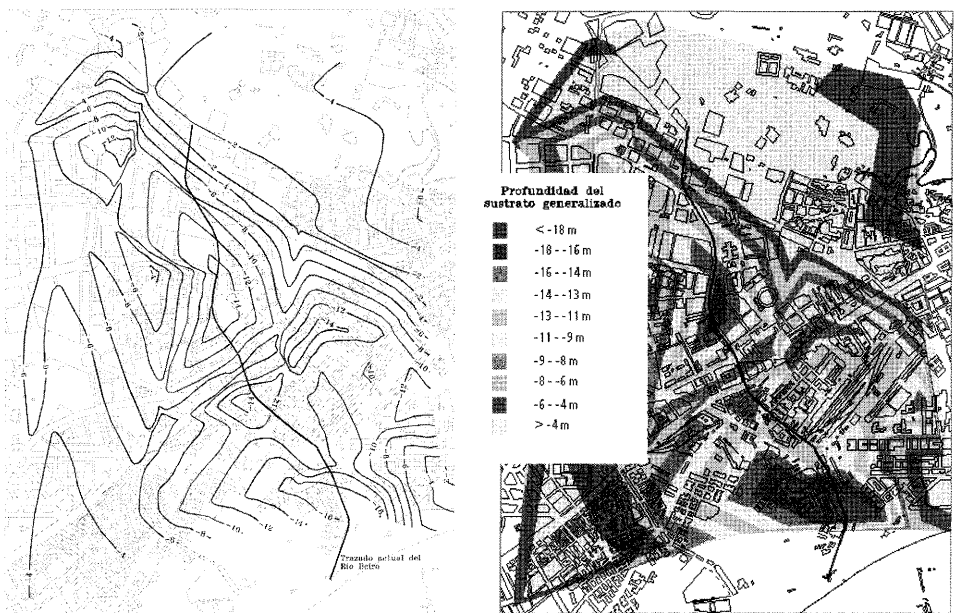


Figura 3 y 4. Representación matemática de los valores obtenidos en la zona de trabajo. En el primer esquema se han marcado las isolíneas de igual profundidad del sustrato del área, mientras que en el otro se han definido las zonas de igual profundidad de dicho sustrato.

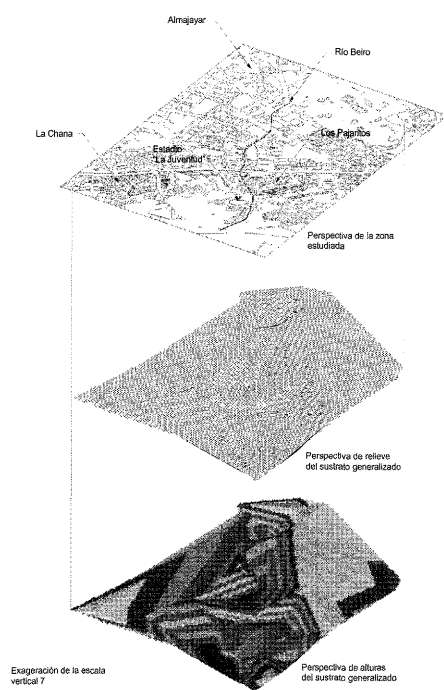


Figura 5.

Como importante impresión que se observa es que el trazado actual del río solo coincide en una pequeña parte con el eje de la vaguada principal.

El eje principal de dicha vaguada tiene inicialmente una dirección neta Norte-Sur, en línea prácticamente recta, quedando perfectamente delimitado. Este sector presentan potencias de rellenos oscilantes

entre los 12 y 15 m y claramente incrementables hacia el Sur.

Llegado a este punto se puede observar una “explana” fluvial de dimensiones importantes donde pueden distinguirse dos cuencos o depresiones.

Independientemente de los estudios realizados hasta este momento en el cual se pretende definir el primitivo trazado del Río Beiro, se ha gestionado un ejercicio comparativo de las muestras ensayada durante la realización de los informes geotécnicos utilizados para el trabajo realizado previamente, al objeto de conocer si se confirma el criterio inicial de diferenciación de los materiales de relleno debido al arrastre fluvial y los infrayacentes definidos principalmente por gravas y arenas.

La representación de los datos ponen en evidencia dos grandes agrupaciones, una formada por materiales de tamaño fino y que corresponde a los suelos aportados por el transporte fluvial, y otro grupo donde se distribuyen los materiales gruesos y que podrían corresponder a las propias intercalaciones granulares de los sedimentos aluviales o los propios del sustrato de la zona.

Con respecto a los ensayos de Límites de Atter-

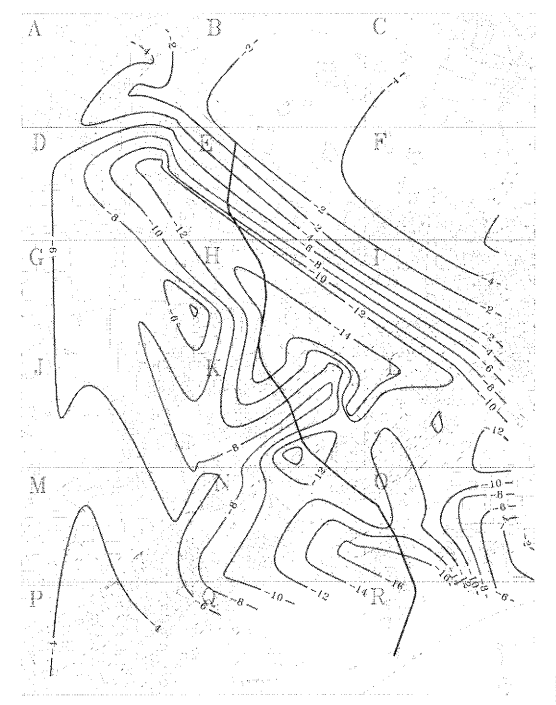


Figura 6. Cuenca fluvial primitiva del río Beiro.

berg, los valores son igualmente determinativos diferenciándose dos grupos netamente definidos.

El primer grupo se determina por los valores que se agrupan en la zona de las arcillas y limos de poca a media plasticidad, y que habrían de corresponder con los suelos de aporte; y un segundo grupo con valores

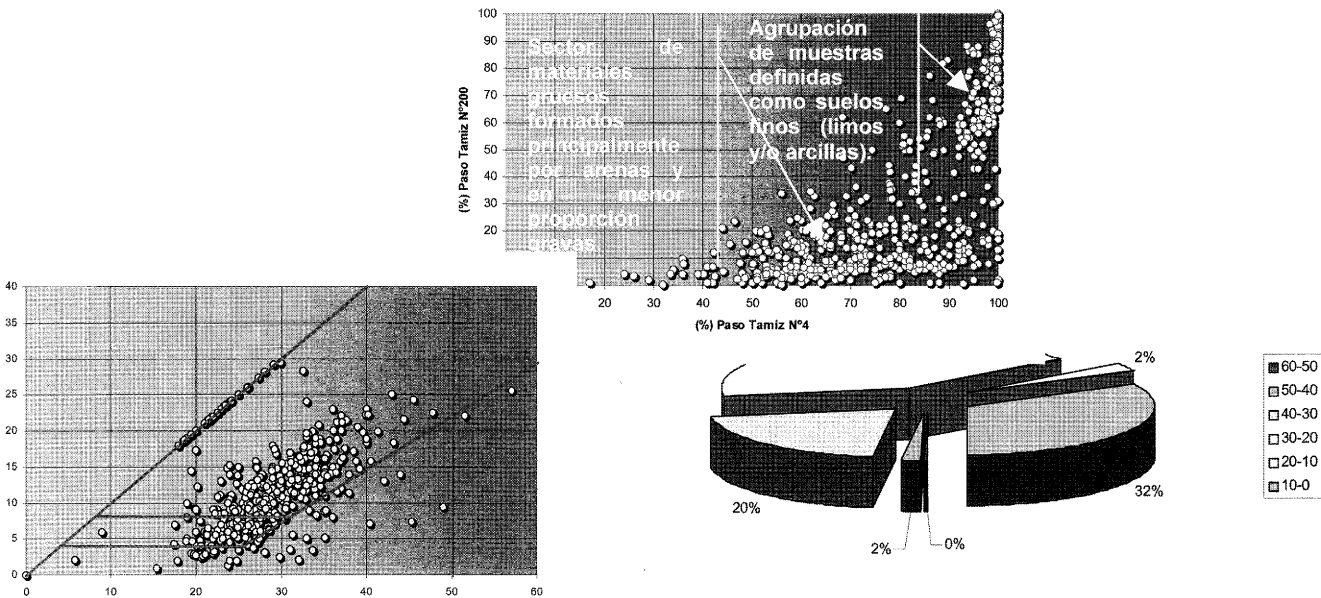
de límites muy bajo o incluso nulos y que habrán de definir los materiales propios del sustrato de la zona o los niveles granulares que se intercalan o indentan dentro de los niveles más finos aluviales.

Conclusiones y aplicación

Cualquier sistema de penetración, de uso cotidiano en cualquier labor de tipo geotécnica, puede suponer un instrumento de incalculable valor a la hora de determinar profundidades de cambios litológicos o de compacidad.

El crecimiento urbano genera una piel de hormigón y aglomerado, que tiende a ocultar a la memoria las alineaciones que la naturaleza, con el devenir de los años ha desarrollado. La dinámica fluvial, siempre en movimiento, desarrolla constantemente nuevos trazados abriendo nuevos brazos de circulación y rellenando otros.

Un ejemplo de fácil aplicación del sistema propuesto consiste en la localización de antiguos cursos fluviales que hoy día pueden verse ocultos por los suelos de relleno. Estas zonas son, en general, propensas a



Figuras 7 y 8. Análisis granulométricos. Límites de Atterberg.

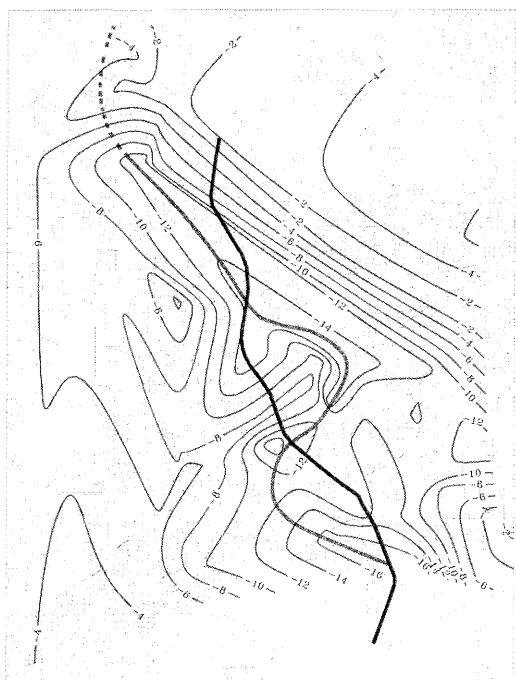


Figura 9. Estado inicial del río Beiro, en color rojo, y situación actual del mismo en color azul.

presentar muchos y variados problemas de tipo geotécnico. Así se ha hecho en el caso del Río Beiro, situado al Oeste de la Capital Granadina, y que en la actualidad de encuentra canalizado y cubierto a su paso por el casco urbano.

Las conclusiones que se han obtenido son las siguientes:

a. Inicialmente, este mal llamado río debido a su escaso caudal, debió de presentar un aporte de aguas mucho más importante que el actual.

b. Todos los datos obtenidos apuntan que el trazado actual del río no coincide con el primitivo que hubo de tener.

c. En su parte más elevada el río presentó un trazado netamente desplazado hacia el Oeste, con respecto a su cauce actual.

d. Desde este punto, el trazado primitivo del río discurre por un sector altamente definido para coincidir finalmente de un modo aproximado con el trazado actual en este área.

e. A partir de esta zona, aparece una llanura aluvial, que define una amplia zona del Suroeste de la capital.

f. Está claro que una definición final de antiguos

trazados o brazos fluviales, hoy ocultos, habrían de apoyarse además en otras técnicas que corroborarán y ajustarán las alineaciones buscadas; no obstante la sistemática descrita es claramente competitiva, desde un punto de vista técnico y pecuniario para un inicio de trabajos de resultados altamente fiables, esta fiabilidad esta directamente inducida por la densidad de puntos de trabajo y la distribución de los mismos.

g. La técnica descrita no tiene por que ser exclusivamente aplicable al sistema desarrollado pudiendo adaptarse a facetas tan diferenciadas como la Hidrología, Geomorfología, Hidráulica, Geotécnica, etc.

Bibliografía

1. Arnould, M. *et al.* (1978) "Projet de constitution d'un fichier de donées geotechniques de la ville de Paris" 3° Cong. Int. AIGI. Sesión Especial 4, p. 108-115.
2. Banco de Datos para uso geotécnico del Condado de Tyne & Wear (1982). Newcastle.
3. Características geotécnica y geográficas del subsuelo en la zona urbana. Turín (1986).
4. Hernández del Pozo, J.C Análisis metodológico de la cartografía geotécnica urbana aplicada a la Ciudad de Granada. 1.999.
5. Rodríguez Ortiz, J.M., Geotecnia y Cimientos III, 1975.

La ampliación constante del suelo industrial versus los perímetros huertanos tradicionales. Los problemas de ordenación de los espacios industriales de la Vega Baja del Segura

▣ *Eduardo G. Rodríguez Carmona*

La consolidación de la tendencia “industrializadora” o, cuanto menos, de la expansión de la superficie calificada como suelo industrial en el Bajo Segura, se aprecia con intensidad en diversos municipios que han adoptado, abiertamente, la estrategia de desarrollo endógeno a través de la promoción pública de polígonos industriales o la habilitación de suelo para la inversión privada con el mismo objeto.

Los casos paradigmáticos de Catral y Albufera, se han visto acompañados recientemente por Almoradí, San Isidro de Albufera e incluso Dolores y Redován, junto con Bigastro, sin olvidar la oferta de Orihuela, que vislumbra un nuevo relanzamiento de su sector secundario.

El estudio que acometemos centrará su objetivo analítico no tanto en la explicación de las causas socio-económicas que han permitido alcanzar el fenómeno referido, como en las consecuencias de ordenación territorial que sin duda se están planteando en la estructura espacial comarcal.

La incesante ocupación de suelo en los perímetros huertanos tradicionales, previa la modificación de usos en el planeamiento urbanístico de las entidades urba-

nas que componen la llanura aluvial del Segura e, incluso, por la vía de la ocupación ilegal fuera de ordenación, precisa de una categorización tipológica que defina los diversos asentamientos industriales que ya son perceptibles en este territorio.

La transformación experimentada en el paisaje comarcal y, en particular, en la zonificación imaginaria que vendría a conformar la zona de vega más fértil en términos agrarios, dispone de una importancia del calibre que la propia dinámica urbanizadora de carácter residencial, está provocando en la zona costera de la comarca.

En un trabajo de publicación reciente, y con un titular ciertamente atractivo, Rafael Sebastián Álvarez, recogía algo así como un antecedente actualizado de esta nueva estructuración territorial de la Vega Baja.

Su aportación, siguiendo la estela historiográfica marcada por Clemente Hernández en su ya clásica obra “La Vega Baja del Segura”, publicada en 1990, toma como instrumento de explicación del fenómeno industrializador la interrelación de datos estadísticos relativos a la inversión industrial entre 1973 y 1991

con la estructura y dinámica del mercado laboral comarcal.

Esta aproximación, aún constituyendo una perspectiva metodológica propia de la disciplina económica, nos permite ahora fundamentar la tendencia de la última década, es decir 1991-1999, aunque con datos y referencias no sólo cuantitativas sino también cualitativas.

De este modo, tomando literalmente un extracto del resumen del artículo de Sebastiá Alcaraz, establiceremos nuestro posicionamiento, la hipótesis de trabajo y el ámbito concreto de esta parcela de investigación con carácter preliminar para su desarrollo posterior. Así, el investigador referido viene a considerar que:

“El estancamiento económico de la Vega Baja del Segura a comienzos de los años setenta y su dependencia del sector primario y de la industria destinada a la transformación de la producción agraria ha desaparecido a comienzos de los noventa. En la actualidad se distingue una comarca con un importante sector terciario y secundario”.

El modelo industrializador de la Vega Baja participa de las directrices marcadas por otras zonas de la provincia y, en especial, de la vecina comarca del Baix Vinalopó. No obstante, todavía se yuxtaponen en este espacio las prácticas más tradicionales en lo relativo al ámbito físico (dos procesos: formal e informal: economía abierta y sumergida) en donde se desarrolla determinada producción. Desde esta perspectiva, podemos afirmar que, todavía se siguen presentando numerosos ejemplos de reminiscencias del sistema de taller familiar que sobrevive, con modernización de maquinaria, eso sí, al ímpetu de los nuevos espacios de producción localizada representados por el modelo de polígono industrial, sin duda, en constante expansión y con una previsión de más actuaciones.

Los antecedentes y las causas del proceso industrializador de la Vega Baja de finales del s. XX

Para fundamentar no sólo el diagnóstico de la

actual orientación del sector secundario de la Vega, sino también la comprensión del proceso de concentración de las actividades y subramas productivas en esos polígonos, seguiremos a Hernández Pascual.

De esta forma, estaremos de acuerdo con la valoración que hace este autor cuando considera que la dinámica de terciarización e industrialización de esta “comarca natural” bien definida, se ha debido más bien a un efecto de reacción y de obligada adaptación productiva a las nuevas circunstancias que han rodeado al sector agrario desde los años ochenta.

Ciertamente, las expectativas de progreso socioeconómico que trajo consigo la realización del trasvase Tajo-Segura, se han visto frenadas por la escasez de los registros hídricos efectivamente disfrutados. Además, la coyuntura negativa que ya en la práctica se ha convertido en estructural, provocada por acontecimientos de historia económica contemporánea del tipo de las obligaciones de la P.A.C. y la O.C.M., han perfilado definitivamente la tendencia a la diversificación de la tradicional estructura económica comarcal.

No obstante, y aunque esa cuantificación de inversión industrial se ha visto reforzada no solamente en los subsectores más clásicos presentes en esta zona, sino también en su distribución sobre el territorio, –y esto representa el más importante elemento definitorio del reciente proceso que tiene lugar–, la producción industrial sigue girando alrededor de dos características cuando menos comprometidas.

Por un lado, la dependencia del ciclo económico que afecta al sector de la construcción, y por otro, a las decisiones de instalación en los municipios de la Vega de empresas que tienen su origen en el Baix Vinalopó, aunque paulatinamente están siendo trasladadas en parte de su cadena productiva a estas tierras.

Los vientos favorables hacen que, coyunturalmente –y en estos últimos años de ciclo alto de crecimiento se ha dado esta benefactora cara de la moneda– los subsectores industriales más dinámicos hayan sido los tradicionales y “maduros” así como los ligados a la industria auxiliar de la construcción.

De esta forma, la participación de las actividades relacionadas con la fabricación de productos metálicos y materiales de construcción concentran hasta un 22% de la inversión industrial en 1991; la industria de la alimentación y el textil sin confección, un 10% para el mismo año; las labores referidas a la madera y el mueble, como subsector especialmente radicado en el corazón de la comarca, alcanzarían un meritorio 15% y, finalmente, por acotar, el calzado, que entra con fuerza desde 1989 fundamentalmente, y se sitúa en casi el 14% en la cuantificación estadística de la inversión recibida.

Para confirmar esta estructura industrial, también se puede hacer uso de la estadística relativa a la participación porcentual que los diversos subsectores que componen la industria manufacturera, reporta a la actividad económica. Así, del Listado de Matrículas del I.A.E. de 1993, se desprende que el mayor número de empresas se incluye en el subsector de la madera y mueble con 272 contribuyentes (el 28'2% del sector); la alimentación acoge a 243 (25'2%); el textil dispone de 201 razones sociales (20'9%) y el calzado progresa con 166 mercantiles (17'2%).

En este sentido, el Censo de Actividades Económicas de 1996, analizado por la Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Alicante, viene a refrendar de forma definitiva que los diversos subsectores señalados, que componen las industrias manufactureras de la Vega Baja, suponen nada menos que el 75% del sector secundario global. Por otro lado, las industrias de transformación metálica, con un 14%, y las incluídas en el epígrafe de extracción y transformación de minerales no energéticos, junto con un subsector residual referido a la industria química, se quedan con el 10% restante.

Así pues, queda patente aquella referencia al sostén socioeconómico comarcal en los sectores industriales manufacturados, así como en aquellos ligados a las industrias auxiliares del sector de la construcción, representados especialmente en las coyunturas cíclicas favorables de la actividad constructora.

En definitiva, hasta aquí hemos planteado datos diversos pero suficientemente indicativos y complementarios que nos han servido para perfilar la situación industrial en 1991 como antecedente básico de la más reciente historia económica comarcal.

También el año 1993 ha deparado una clara conclusión acerca de la tendencia hacia el refuerzo de las actividades del sector industrial “maduro”. Esta dinámica ha actuado con bastante estabilidad, a modo de “colchón”, en una coyuntura económica de signo depresivo, sobre todo en referencia al brusco retraimiento de la actividad inmobiliaria sufrido hasta 1996-97.

Finalmente, los clarificadores indicadores obtenidos desde 1996, cuando la actividad económica comenzó a despegar de nuevo, nos han conformado la tendencia que todavía hoy disfrutamos con base en el ciclo de potente crecimiento que, por supuesto, participa del contexto regional y también europeo si consideramos, por un lado, la exportación de un importante porcentaje de la producción manufacturera comarcal que recientemente alcanza cifras cercanas al 60% según las ramas industriales (madera, mueble y textil) y, por otro, el análisis detenido de los países de donde proceden los potenciales compradores de segundas residencias.

Con el objetivo de contextualizar nuestra aportación al estudio del renovado proceso industrializador que tiene lugar en el ámbito comarcal, —una cuestión-debate felizmente tan inacabada como la propia dinámica “fabril” en la que se han embarcado numerosos municipios de la Vega— nos apoyaremos en los trabajos de Hernández Pascual, Alcaraz García y otros autores cercanos a la perspectiva de la explicación socioeconómica, los cuáles han avanzado una explicación del proceso de radicación creciente de nuevas industrias, a excepción del análisis de los usos del suelo dedicados precisamente a estas actividades. De esta forma, los aspectos favorables que han incentivado el fenómeno podrían resumirse como sigue:

- Bajos índices de conflictividad laboral de los tra-

bajadores industriales de la Vega por una débil tradición organizativa fabril y, por tanto, de reclutamiento y actividad sindical.

- Traslado a los nuevos procesos industriales, de los hábitos de organización del trabajo, así como de la propia producción fundamentada en las tradiciones manufactureras y cuasi familiares de los talleres escasamente mecanizados.

- Suficiente oferta potencial de mano de obra joven, con baja cualificación profesional y, primordialmente, de género femenino.

- Mejora de las comunicaciones, sobre todo con las comarcas vecinas, que son las zonas en donde se encuentran radicadas las empresas matrices.

- Favorables antecedentes en la aplicación de técnicas y métodos de labores conocidas por el trabajo manual que fueron muy bien considerados, con carácter preliminar, por los empresarios e inversores de las nuevas industrias. Entre estos precedentes, recordaremos por su relieve el proceso industrial del cáñamo e, incluso, el destacado y muy valioso “know-how” que los talleres de costura de la comarca aportaron entre la población femenina. De esta forma, la potencial incorporación de la mujer ha sido sin duda uno de los factores más destacados que han reforzado el impulso y la consiguiente estabilidad de la actual dinámica industrializadora comarcal.

- Oferta suficiente y creciente de suelo para la actividad secundaria en un entorno muy bien localizado por la situación geográfica de la comarca y por la planitud general del territorio, así como con una potencial estructuración viaria y de comunicaciones para el desarrollo de economías de escala.

Este último punto es el que nos interesa primordialmente y por ello nos detendremos en su análisis prememorizado.

Por tanto, parece razonable considerar que la propagación del proceso de construcción de polígonos industriales puede haber ido pareja al mismo fenómeno detectado en el último quinquenio en la vecina comarca del Bajo Vinalopó. Esta circunstancia, bien

estudiada para el subsector del calzado por parte de Canales Martínez y Melis Maynar, ha podido cuajar como actividad de arrastre de otros subsectores más resistentes a dar el salto desde los talleres familiares a los nuevos espacios especializados y concentrados.

También es perfectamente defendible la tesis que viene a buscar los antecedentes directos del proceso que tratamos en la contrastada existencia de un importante volumen de economía sumergida en el ámbito territorial del Bajo Segura.

Esta característica productiva de tipología informal, la cual dispone de un “atractivo” peculiar para los posibles inversores por la notable reducción de costes en el factor trabajo, conlleva, asimismo, una estrecha ligazón con la oferta de suelo barato que muchos municipios de la Vega no han dudado en facilitar para la radicación industrial.

Sin embargo, tampoco profundizaremos en el modelo de desarrollo industrial basado en la búsqueda de índices de competitividad que pertenecen a actividades económicas ocultas al fisco.

Concentraremos más bien el esfuerzo en el estudio de esa oferta de suelo industrial ubicada en municipios agrícolas que dispone de unos precios más bajos que los parcelarios ofertados por los municipios industriales cercanos.

La práctica más o menos extendida de acometer construcciones en muchos casos ilegales y por tanto fuera de ordenación urbanística, ha venido desarrollándose, en lo concerniente al suelo industrial, del mismo modo que para otra tipología de construcciones no especialmente dedicadas a actividades productivas, y esta circunstancia, también será objeto de especial atención analítica.

Obviamente, y a pesar de lo señalado en el párrafo precedente, la creación de áreas dotadas de modernos servicios para el desarrollo adecuado de las empresas, ha supuesto una dinámica planificada que no era nada habitual para el caso del entramado industrial de la Vega Baja y ésto mismo representa un evidente avance que es preciso remarcar.

Análisis y aproximación tipológica del suelo industrial comarcal. Una evolución vertiginosa: 1975-2000

Para facilitar el acercamiento al objeto de estudio acometeremos la clasificación de las instalaciones industriales de la comarca en consideración a la tipología de suelos que las han acogido. En concreto, y básicamente, detectamos algunos polígonos en substratos edáficos manifiestamente improductivos o, al menos, escasamente rentables en su vinculación productiva primitiva que no era otra que la producción agraria.

Por otra parte, también se presentan recientemente, numerosos casos de ocupación de parcelarios ubicados en zonas de alto nivel de rentabilidad agrícola que, la mayoría de las veces, están localizados en la banda zonal de la Vega adyacente al río Segura y que, en la actualidad, se desarrollan entre explotaciones de cítricos y regadíos tradicionalmente bien dotados de recursos hídricos y muy considerados entre los agricultores.

Este criterio de selección se constituye en una aproximación básica por cuanto podremos avanzar las causas que motivan el fenómeno industrializador comarcal en lo que trata del suelo y su ordenación.

De este modo, entre el primer grupo podríamos citar los asentamientos industriales de Albalá, San Isidro, Catral, Torreveja e incluso Cox, este último de forma parcial, y casi todos ellos enclavados en suelos con altos niveles de concentraciones salitrosas que no los hacían viables desde la óptica agronómica.

Para el segundo grupo, sin duda el más numeroso y el más relevante para acreditar la tendencia que pretendemos clarificar, aparecen los polígonos/actuaciones programadas industriales de Almoradí, Benejúzar, Bigastro, Callosa de Segura, Dolores, Formentera, Los Montesinos, Orihuela, Pilar de la Horadada, Redován, Rojas y San Fulgencio. Aquí, también incluiríamos la promoción planificada en Daya por su paradójico simbolismo al disponer de una superficie mayor que el propio núcleo urbano.

Como un tercer grupo que, aunque es preciso referenciar para cerrar el análisis global del sector en la Vega Baja, podríamos dejar los casos “residuales” —en razón de sus especiales condiciones previas para el asentamiento y de sus características menos acusadas y definidas—, protagonizados por Guardamar del Segura e incluso la pequeña zona de talleres de Jacarilla.

No obstante, y de conformidad con el Catálogo de Suelo Industrial de la Comunidad Valenciana elaborado en 1997 por el SEPIVA y la Consellería de Industria y Comercio, es preciso distinguir la “casuística diversa” en lo que a tipos de polígonos se refiere en nuestro entorno geográfico más cercano.

Así pues, el concienzudo e innovador estudio que hemos anotado viene a considerar tres tipos de asentamientos para la actividad industrial y terciaria. Por un lado, dispondremos de “Polígonos” propiamente dichos, por otro, las denominadas “Áreas Industriales” y, finalmente, los “Enclaves Industriales”.

Vamos a detenernos en sus características en atención a la importancia que esta conceptualización tiene para reforzar la explicación de las modalidades, —ya veremos la conclusión definitiva— que se presentan en la Vega Baja. En el apartado metodológico habría que considerar lo que sigue para definir cada caso:

a) *Polígonos*: constituídos por áreas perfectamente planificadas, con un ámbito totalmente delimitado y con unos estándares urbanísticos e infraestructuras totalmente acordes con los requisitos establecidos por la Ley del Suelo y sus Reglamentos. En su mayor parte responden al desarrollo de Planes Parciales o Planes Especiales de Reforma Interior.

b) *Áreas Industriales*: constituídas por zonas que han ido desarrollándose de forma paulatina y que, generalmente, el planeamiento clasifica como suelo urbano. Suelen presentar deficiencias en cuanto a equipamiento e infraestructura y, en muchos casos, resultan de difícil gestión urbanística por el grado de consolidación existente.

c) *Enclave Industrial*: constituídos por grandes empresas o instalaciones generadas alrededor de las

mismas que, en general, presentan poca o ninguna posibilidad de ampliación.

También es necesario señalar las condicionantes preliminares que impidieron incluir lo que podríamos denominar “*Entornos Industriales*”, casi todos ellos de carácter periurbano para el caso de nuestro territorio. De este modo, se excluyeron del trabajo los polígonos o áreas con una superficie menor en torno a 2 has., también los que no tuvieran una situación legal o sus condiciones urbanísticas dieran lugar cuanto

menos a razonables dudas jurídicas. De la misma forma no fueron contemplados los que tuviesen un grado de consolidación superior al 80% y por tanto estuvieran en una situación cercana a la saturación.

Con esto planteamientos, en la Vega Baja tenemos lo que se detalla en la Tabla 1. No obstante, nosotros ahondaremos y concretaremos la situación actual que, a partir de estros acontecimientos, se constatan en la realidad.

Tabla 1
Análisis tipológico de los espacios industriales de la Vega Baja en consideración al sustrato edáfico sobre el que se asientan

| MUNICIPIO | DENOMINACIÓN DEL ESPACIO INDUSTRIAL | APLICACION TIPOLOGICA | SUSTRATO EDÁFICO | SUPERFICIE EN HAS. | OBSERVACIONES | SITUACIÓN URBANÍSTICA |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| ALBATERA | Mos del Bou I | Polígono Ind. | Salitroso. | 10'40 | | |
| ALBATERA | Mos del Bou II | Polígono Ind. | Salitroso. | 30'50 | 2ª Fase en desarrollo. | Prevista la tramitación. |
| ALBATERA | La Granadina | Polígono Ind. | Salitroso. | 28'00 | Ocupación plena. | Inauguración 14-5-1999. |
| ALBATERA | La Granadina II | Polígono Ind. | Salitroso. | 20'00 | 2ª Fase. | En proceso de tramitación. |
| ALGORFA | | | Yesoso. | | | |
| ALMORADÍ | Era Alta | Polígono Ind./ Área ind. | Vega pardo-caliza. | 5'00 | Ocupación plena. | |
| ALMORADÍ | Las Maromas (1ª Fase) | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 10'30 | Inauguración 2-7-1999. | |
| ALMORADÍ | Las Maromas (Ampliac). | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 35'65 | 2ª Fase en desarrollo. | Prevista la tramitación. |
| BENEJÚZAR | A-04 | Área Ind. | Yesoso. | 1'40 | Periurbano. | |
| BENEJÚZAR | A-05 | Polígono Ind./ Área ind. | Yesoso. | 4'20 | Periurbano. | |
| BENEJÚZAR | Polígono Industrial | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 5'00 | Periurbano. | |
| BENFERRI | Polígono Industrial | Polígono Ind. | Pardo calizo con costra caliza. | 12'41 | Proyectado. | En proceso tramitación |
| BENIJÓFAR | Polígono Industrial | Polígono Ind./ Área ind. | Vega pardo-caliza. | 3'51 | Periurbano. | |
| BIGASTRO | Apatel; PA-22 | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 15'05 | 1ª Fase. | |
| BIGASTRO | Apatel (Ampliación) | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 5'00 | 2ª Fase en desarrollo. | |
| C. DE SEGURA | La Cartagena | Polígono Ind./ Área ind. | Vega pardo-caliza. | 4'75 | Periurbano. | |
| C. DE SEGURA | El Palmeral | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 18'86 | Periurbano. | |

Tabla 1

| MUNICIPIO | DENOMINACIÓN DEL ESPACIO INDUSTRIAL | APLICACION TIPOLOGICA | SUSTRATO EDÁFICO | SUPERFICIE EN HAS. | OBSERVACIONES | SITUACIÓN URBANÍSTICA |
|---------------|---|-----------------------------|---|-----------------------|---------------------------|--|
| CATRAL | San Juan (1ª Fase) | Polígono Ind. | Costras Salinas. | 18'70 | Ocupación plena. | Periurbano. Inauguración 1977. |
| CATRAL | San Juan (2ª Fase) | Polígono Ind. | Costras Salinas. | 7'25 | Ampliación en 1998. | Periurbano. |
| COX | Suelo Industrial | Polígono Ind./ Área ind. | Salitroso-Vega pardo-caliza. | 42'30 | Expansión reciente N-340. | |
| DAYA | Suelo Industrial | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | | Proyectado. | |
| DOLORES | Polígono Industrial | Polígono Ind./ Area ind. | Vega pardo-caliza. | 5'00 | Periurbano. | |
| DOLORES | Polígono Industrial | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 20'00 | Proyectado. | En proceso tramitación. |
| G. DEL SEGURA | Suelo Urbano con clasificación especial. | Área industrial | Pardo-calizo con costra caliza. | 50'60 | . | En tramitación. |
| G. DEL SEGURA | SUP-5 7 Santa Ana | Polígono Ind. | Transición a Vega pardo-caliza. | 13'92 | | |
| G. DEL SEGURA | Sector ZSO-3 | Polígono Ind. | Transición a Vega pardo-caliza. | 46'20 | Proyectado. | En proceso tramitación |
| JACARILLA | Suelo Industrial | Área industrial | Vega pardo-caliza. | 4'28 | Desarrollo reciente. | Periurbano. |
| MONTESINOS | Industrial-1 | Polígono Ind./ Area ind. | Gris sub-desértico de transición. | 16'10 | Periurbano. | |
| MONTESINOS | Industrial-2 | Polígono Ind./ Área ind. | Salitroso. | 13'80 | Desarrollo reciente. | Periurbano. |
| ORIHUELA | San Bartolomé. Suelo Urbano Ind. | Área Ind. | Vega pardo-caliza. | 3'36 | Ocupacion plena. | Periurbano. Propuesta de ampliación y ordenación. |
| ORIHUELA | Bigastro (V-1) | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 19'80 | Desarrollo inminente. | En tramitación. |
| ORIHUELA | PAU-13 Ind. La SEAT. | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 14'88 | Desarrollo inminente. | |
| ORIHUELA | PAU-14 Ind. La Murada. | Área Ind. | Pardo- calizo con costra caliza Campo (Regadío) | 11'42 | Periurbano. | Propuesta de ampliación. |
| ORIHUELA | Mudamiento. Suelo Urbano Ind. | Área Ind. | Vega pardo-caliza. | 1'16 | Periurbano. | Pendiente de ordenación. |
| ORIHUELA | Torremendo. Suelo Urbano Ind. | Area ind. | Gris sub-desértico. | 1'25 | Periurbano. | |
| ORIHUELA | Puente Alto. | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 29'00 | Inauguración en 1984. | Desarrollo reciente en 1997. Propuesta de ampliación. |
| ORIHUELA | PAU-16 Puente Alto Este. | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 14'05 | Desarrollo inminente. | Proyecto en elaboración. |

Tabla 1

| MUNICIPIO | DENOMINACIÓN DEL ESPACIO INDUSTRIAL | APLICACION TIPOLOGICA | SUSTRATO EDÁFICO | SUPERFICIE EN HAS. | OBSERVACIONES | SITUACIÓN URBANÍSTICA |
|--------------|---|--------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| ORIHUELA | PAU-17 | | | | | |
| | Puente Alto Oeste. | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 17'93 | Desarrollo inminente. | Proyecto en elaboración. |
| ORIHUELA | PAU-24 | | | | | |
| | Ind. La Aparecida. | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 16'00 | Ocupación continua. | |
| ORIHUELA | PAU-22 | | | | | |
| | Ind. El Escorratel. | Área Ind. | Vega pardo-caliza. | 8'75 | Periurbano. | |
| P. HORADADA. | Cañada de Praez | Polígono Ind. | Gris sub-desértico. | 24'90 | Ocupación en transición. | |
| REDOVÁN | A-7 (Suelo Urbano Ind.) | Área Ind. | Vega pardo-caliza. | 30'80 | Periurbano. | |
| REDOVÁN | Sector I. Bº. San Carlos. | Área Ind. | Vega pardo-caliza. | 29'40 | Desarrollo constante. | |
| REDOVÁN | Suelo urbano Ind. | Area Indust. | Vega pardo-caliza. | 0'48 | Periurbano. | |
| ROJALES | La Bernarda | Área ind./ | | | | |
| | | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 3'00 | Periurbano. | |
| ROJALES | Los Barrios | Polígono Ind. | Vega pardo-caliza. | 10'25 | En desarrollo. | |
| SAN ISIDRO | Industrial – I | Polígono Ind. | Salitroso. | 7'20 | Ocupacion plena. | Desarrollo reciente. |
| SAN ISIDRO | Industrial – II | Polígono Ind. | Salitroso. | 7'00 | Proyectado. | Tramitado. |
| TORREVIEJA | Casa Grande I; P-22.0 | Polígono Ind./ | | | | |
| | | Área Ind. | Gris sub-desértico. | | | |
| | | | Campo. | 33'60 | | |
| TORREVIEJA | Casa Grande II; | | | | | |
| | S-12. | Polígono Ind. | Gris sub-desértico. | | | |
| | | | Campo. | 10'90 | | |
| TORREVIEJA | Suelo Urbano | | | | | |
| | Ind. Tolerancia | Área Ind. | Gris sub-desértico. | | | |
| | | | Campo. | 26'00 | Periurbano. | |
| TORREVIEJA | Las Salinas; | | | | | |
| | S-8. | Enclave Ind. | Salitroso. | 15'30 | Enclave Industrial. | |

Fuente: *Elaboración propia.*

La primera conclusión que podemos extraer del cuadro tipológico que hemos construido, además de la constatación del hecho de la existencia de espacios industriales en casi todos los municipios de la Vega Baja, –algo que ya habíamos anticipado–, viene centrada en la distribución zonal del suelo sobre el que se asientan las infraestructuras secundarias que analizamos.

De este modo, según la clasificación utilizada, dispondríamos de 139,45 has de suelo industrial en sustratos salitrosos poco propicios para el desarrollo agrario. Este dato significará en términos porcentuales un 17'87% del suelo total afectado por esta calificación de uso en la comarca y supondría una coherente decisión, desde la perspectiva de la más conveniente ordenación territorial, la creación de polígonos en estos paisajes.

Esta última apreciación se sustenta sobre el presupuesto ideológico de considerar el espacio geográfico comarcal en su integridad, rehuendo de argumentos localistas y reduccionistas.

Por otra parte, las actuaciones industriales ubicadas en suelos “pardo-calizos con costras calizas”, que vienen a constituir los entornos de piedemontes en los perímetros serranos del interior así como el sustrato más común de la banda zonal costera, alcanzan las 236’89 has y hasta un 30’36% del total.

La ubicación de industrias en estos parcelarios también resulta asumible, en términos de compatibilización de usos del territorio, con una planificación coherente para que no se vea perjudicado ni el sector terciario representado por las actividades turísticas

promovidas en el litoral de la Vega Baja, ni tampoco el sector de la construcción de segundas residencias con vocación también turística.

El bloque más amplio de municipios con suelo industrial, y que dispone de una complejidad mayor en la aplicación del criterio de compatibilización de actividades productivas, está concentrado en la zona de huerta tradicional, o lo que es lo mismo, sobre terrenos “vega pardo-caliza”, que son los mejor dotados para la producción hortofrutícola y agraria en general.

En este territorio se localizan hasta 382’62 has de suelo afectado por usos industriales “ordenados”, representando nada menos que el 49’04% del total analizado.

Tabla 2
Desagregación municipal del suelo industrial de la Vega Baja del Segura. Evolución 1995-2000

| MUNICIPIO | SUPERFICIE Tº. M. (Has) | SUELO IND. Año 1995 (Has.) | % S./Sup. Tº. M. | IND. AÑO 2000 (Has.) | % S./Sup. Tº. M. | D. Absoluto 1995-2000 (Has.) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------|
| ALBATERA | 6.632’60 | 85’24 | 1’29 | 88’90 | | 3’66 |
| ALGORFA | 1.872’00 | 9’04 | 0’48 | ? | | |
| ALMORADÍ | 3.150’00 | 6’00 | 0’19 | 50’95 | | 44’95 |
| BENEJÚZAR | 921’00 | 17’49 | 1’90 | 10’60 | | |
| BENFERRI | 1.219’00 | - | - | 12’41 | | 12’41 |
| BENIJÓFAR | 439’00 | 1’51 | 0’34 | 3’51 | | 2’00 |
| BIGASTRO | 426’70 | 15’63 | 3’66 | 20’05 | | 4’42 |
| C. DEL SEGURA | 2.474’60 | 15’00 | 0’60 | 23’61 | | 8’61 |
| CATRAL | 1.985’00 | 18’74 | 0’94 | 25’95 | | 7’21 |
| COX | 1.660’00 | 20’00 | 1’20 | 42’30 | | 22’30 |
| DAYA NUEVA | 602’00 | | | ? | | |
| DAYA VIEJA | 296’70 | | | - | | |
| DOLORES | 1.810’00 | | | 25’00 | | 25’00 |
| FORMENTERA DEL SEGURA | 424’70 | | | | | |
| GRANJA DE ROCAMORA | 679’00 | | | ? | | |
| GUARDAMAR DEL SEGURA | 4.100’00 | 17’20 | 0’42 | 110’72 | | 93’52 |
| JACARILLA | 1.200’00 | 4’08 | 0’34 | 4’28 | | 0’20 |

Tabla 2
Desagregación municipal del suelo industrial de la Vega Baja del Segura. Evolución 1995-2000

| MUNICIPIO | SUPERFICIE T°. M. (Has) | SUELO IND. Año 1995 (Has.) | % S./Sup. T°. M. | IND. AÑO 2000 (Has.) | % S./Sup. T°. M. | D. Absoluto 1995-2000 (Has.) |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------|
| MONTESINOS | 1.500'00 | - | | 29'90 | | 29'90 |
| ORIHUELA | 36.554'00 | 82'41 | 0'23 | 134'19 | | 51'78 |
| RAFAL | 1.600'00 | | | ? | | |
| REDOVÁN | 919'90 | 25'73 | 2'80 | 59'68 | | 33'95 |
| ROJALES | 3.230'00 | ? | | 13'25 | | 13'25 |
| SAN FULGENCIO | 1.900'00 | 27'52 | 1'45 | | | |
| SAN MIGUEL DE SALINAS | 5.776'30 | 3'17 | 0'05 | - | | |
| SAN ISIDRO | 677'40 | - | | 14'20 | | 14'20 |
| TORREVIEJA | 7.240 | 76'88 | 1'61 | 85'80 | | 8'92 |
| PILAR DE LA HORADADA | 7.810'70 | 14'52 | 0'19 | 24'90 | | 10'38 |
| TOTALES | 97.101'20 | 440'16 | | 780,20 | | |
| | | 0'45% | | 0'80% | | D Período: 87'85 % |
| | | S./Sup. Total | | S./Sup. total | | |

Fuente: *Elaboración propia.*

La previsible justificación geográfica y socioeconómica relativa al hecho sólido de que, en efecto, la superficie del espacio de huerta tradicional aparece como el más amplio y más poblado de la comarca, obviando en el recuento territorial a la superficie ocupada por las elevaciones orográficas, el embalse de La Pedrera y las Salinas de La Mata y Torrevieja, en razón de su imposible uso desde la perspectiva que nos interesa; no resulta suficiente para infravalorar la incesante pérdida de muchas “tahúllas” de tierra con elevados índices potenciales de productividad agraria que, por otra parte, y en muchos casos, se localizan en los cinturones periurbanos de las cabeceras municipales de la Vega.

El proceso de transformación de los perímetros huertanos de las ciudades, en términos urbanísticos, dispondría de una lógica asumible para la casuística de la expansión propiamente urbana y el desarrollo inmo-

biliario de nuevos parcelarios que acogerían el sostenido incremento demográfico comarcal. No obstante, esta dinámica necesariamente conciliadora para dar respuesta al poblamiento humano, no dispone de los mismos parabienes racionalizadores cuando entra en juego el cambio de usos que fuerza la creciente y actual actividad industrial de esas mismas entidades poblacionales.

Las razones avaladas por criterios de accesibilidad a las vías de comunicación y enlace más importantes, responden a intereses estratégicos generales de las empresas que, debido a la cercanía relativa de los núcleos habitados de la comarca entre sí y de éstos con las carreteras y la autopista A-7, primordialmente, no suponen diferencias apreciables que permitan establecer exclusiones o preferencias de tal o cuál zona industrial de la Vega, sobre todo si nos atenemos al proceso de deslocalización industrial que paulatinamente se

constata con más intensidad entre las diversas realidades territoriales.

Por lo que respecta a otra tipología de condicionantes económicas que se presentarán en esta zona de huerta que comentamos, tales como los posibles costes añadidos que pudieran ocasionar las inversiones en infraestructuras radicadas en suelos sujetos a labores de preparación del terreno sustancialmente gravosas, caso de movimientos de tierra de gran volumen, corrección de pendientes e incluso construcción de pilotajes especiales antihundimientos o sistemas de drenaje contra los efectos de la probable inundabilidad de los terrenos; ya quedó dicho que, en la zona de la huerta, al estar compuestos los suelos de arcillas y margas fundamentalmente, los asientos de las construcciones son más que previsibles y ello incrementaría el precio final de las obras.

Por tanto, tampoco resulta un obstáculo para los inversores estas limitaciones geotécnicas y, de hecho, la práctica habitual es efectuar explanaciones del terreno base, rellenar, elevar las parcelas y edificar las naves industriales con elementos constructivos prefabricados, sobre todo, en lo que respecta a muros, fachadas y techumbres.

Las razones que llevan al auge reciente del fenómeno “industrializador” de la comarca y, por ende, a la habilitación de espacios para esas actividades, hay que buscarlos más en la tipología de los subsectores económicos maduros que empujan a ello, en la expulsión de determinadas actividades fabriles originarias de comarcas colindantes, en los problemas socioeconómicos y medioambientales provocados por la proliferación de naves y almacenes ilegales en el suelo no urbanizable y en los costes comparativos del suelo industrial de un territorio como es el caso del Bajo Vinalopó con relación al de la Vega Baja. En este sentido se podría asumir, como una explicación preliminar a considerar, el estereotipo clásico de la “teoría del subdesarrollo” aplicado a una dinámica de microeconomía comarcal. En efecto, la dinámica impuesta en el último quinquenio que, a su vez,

está anclada en la década anterior de los años ochenta, vendría a considerar a la comarca de la Vega Baja como un auténtico “hinterland” de la vecina comarca, más desarrollada ésta desde la perspectiva industrial, y que actuaría en una estructura de jerarquización y división socioeconómica no impuesta y a escala intraprovincial, aplicando unas funciones de aprovisionamiento de mano de obra barata hasta fechas próximas y, más recientemente, también de suelo, factor de producción ciertamente atractivo no sólo por los precios más competitivos aquí encontrados, sino además, por la ausencia de limitantes condicionantes de índole institucional (caso de una normativa urbanística más laxa, de la escasa represión de prácticas no respetuosas con el entorno natural y, por todo ello, con costes sensiblemente más reducidos en su comparación con el territorio del Bajo Vinalopó).

En el estudio elaborado hacia 1978 (publicado en 1982) por PREVASA, denominado “Situación actual, problemática y perspectivas de desarrollo de las comarcas Valencianas. Estudios Básicos para la ordenación del territorio de la Comunidad Valenciana” y, en concreto, el referido a la comarca de la Vega Baja; ya se exponía la recomendación de “*abordar de una forma conjunta el sistema de comunicaciones existente en el triángulo formado por Orihuela, Albufera y Almoradí, en cuanto puede suponer la principal área de asentamientos industriales en un futuro próximo*”. Sin duda, ese interés por unir a las dos comarcas, acercándolas por carretera con mejores infraestructuras de las entonces existentes, conlleva una clarividente pulsión de las pretensiones de los empresarios radicados en el Baix Vinalopó que estaría en la onda de la valoración efectuada en el párrafo precedente.

Así pues, y aún considerando que, efectivamente el territorio incluido en ese imaginario triángulo de ciudades de la Vega, reúne unas características idóneas desde la perspectiva empresarial, también es preciso insistir en que, justamente el eje protagonizado por los

municipios de Orihuela y Almoradí, junto con la ramificación hacia Dolores, constituyen el corazón de la huerta segura, y por ello, la compatibilización de usos industriales y agrarios se presenta ciertamente comprometida.

De este modo, parece urgente definir claramente los espacios y disponer de infraestructuras adecuadas que, por un lado, controlen los procesos de posible contaminación de suelos por parte de las industrias y, por otro, habiliten los viarios comarcales para el tráfico rodado de mercancías, sobre todo en ese eje que actúa de columna vertebral de la Vega.

La otra “coordenada” con marchamo industrial, está representada por la carretera de la red nacional “N-340”, que enlaza a Orihuela con el término municipal de Albatera y San Isidro, junto con los accesos a Catral. Por tanto concluimos que este entorno presenta excelentes condiciones para albergar, casi en exclusiva, polígonos y parcelarios industriales de última generación con todos los servicios e infraestructuras que exigen las empresas sin ocasionar en principio grandes afecciones al entorno huertano.

La tendencia del último bienio ha corroborado las apreciaciones realizadas en el Estudio de PREVASA con la aparición de dos nuevos polígonos en Albatera, uno en San Isidro y la segura e inmediata ampliación de estos mismos, además de la ampliación del antiguo Polígono de Catral.

Si a esto añadimos el proceso de ampliación del Polígono Industrial “Puente Alto”, en fase de tramitación por parte del consistorio oriolano, así como la habilitación de suelo para actividades secundarias en el municipio de Dolores y el Polígono “Las Maromas” de Almoradí, parece que ya resulta conveniente conformar una ordenación de este “triángulo” industrial de la Vega Baja, sin olvidar los asentamientos que se ubican en la margen derecha del río Segura, como es el caso del Polígono Industrial de Bigastro.

Definitivamente, y con los datos actualizados, la comarca dispone de casi 800 has de suelo dedicado a usos industriales y comerciales entendiéndose como

espacios sujetos a planeamientos urbanísticos debidamente regulados. A mediados de la última década, el suelo industrial alcanzaba 440 has, y por tanto, el crecimiento en el quinquenio analizado ha representado nada menos que un 87’85%.

Este dato, por sí sólo, ya refleja la dinámica tendencia que pretendíamos demostrar. No obstante, y con la intención de contextualizar mejor si cabe esta proyección industrializadora resulta que, en el período amplio que recogería el último cuarto del s. XX, nos aparecen datos ciertamente reveladores. De esta forma, tomando como referencia el ya referido trabajo realizado por PREVASA, que actuaría como base, tenemos que, hacia 1975, cuando la comarca estaba compuesta por 24 municipios en lugar de los 27 actuales, solamente 13 de ellos disponían de una oferta de suelo industrial homologable y contrastable, y esto mismo, con el hándicap añadido de que, al menos 16 de esas cabeceras locales no disponían de instrumentos de planeamiento de sus respectivos territorios y, el resto, se encontraban con planes urbanísticos o normas subsidiarias manifiestamente obsoletos para los usos que la sociedad y la economía de entonces ya demandaban.

Entre 1975 y 1980, fecha esta última que representa la finalización del estudio de PREVASA, la distribución de la oferta de suelo urbano planificado en la comarca se estructuraba entre un 71’7% para uso residencial y un 28’3% para uso industrial. Este dato presta clarificación en nuestra investigación si señalamos que ese peso porcentual, más bien escaso en su comparación con otros ámbitos territoriales –ver Tabla 3 de relación: Vega Baja-Baix Vinalopó-L’Alacantí-Provincia de Alicante– representaba en concreto una extensión de 244 has, específicamente reservadas para actividades fabriles y asimilables.

La Tabla 4, que recoge la evolución del suelo industrial de la Vega Baja en el período comprendido entre 1975-1980 y 1995-2000, nos reporta “suculentas” deducciones inmediatamente cuantitativas con

Tabla 3

Distribución de la oferta de suelo urbano en la Vega Baja y su relación con otros ámbitos territoriales cercanos (1975)

| ÁMBITO TERRITORIAL | S. RESIDENCIAL | S. INDUSTRIAL | TOTAL |
|-----------------------|----------------|---------------|-------|
| Vega Baja del Segura | 71'7 | 28'3 | 100 |
| Baix Vinalopó | 12'4 | 87'6 | 100 |
| L' Alacantí | 52'3 | 47'7 | 100 |
| Provincia de Alicante | 53'5 | 46'5 | 100 |

Fuente: Gabinete de Estudios de las Cámaras de Comercio, Industria y Navegación de la Comunidad Valenciana. 1978.

Tabla 4

Evolución del suelo industrial en la comarca, con detalle de los incrementos acumulados de los años 1975-1995-2000.

La representación de una aceleración vertiginosa que en los 5 últimos años ha doblado el % de las dos décadas precedentes

EVOLUCIÓN DEL SUELO INDUSTRIAL EN LA COMARCA VEGA BAJA: 1975-2000

| Año 1975 | Base 100 | Año 1995 | % D Acumulado | Año 2000 | % D Total Acumulado |
|----------|----------|----------|---------------|----------|------------------------|
| 244 Has. | 100 | 440 Has. | 180 | 780 Has. | 320 |

Fuente: Elaboración propia.

sólo visualizar los datos que allí figuran, pero también cualitativas del último quinquenio de este siglo XX que será el que más nos interesa por su espectacular impacto socioeconómico y territorial.

Así pues, el dato básico que tenemos en 1975 de 244 has de suelo dedicado a la radicación de industrias en la comarca, es preciso aproximarlos cronológicamente a 1979-80 por cuanto, a excepción del Polígono Industrial “San Juan” de Catral, inaugurado en 1977, no se dispone de más datos contrastables y de relevancia que pudieran modificar sustancialmente aquella superficie total.

Además, y enmarcando el momento socioeconómico que atraviesa la Vega Baja en aquellos años, relativo a la espera ansiosa de la finalización de las obras del Trasvase Tajo-Segura y la previsión de su puesta en pleno funcionamiento, se recuerda que los recursos inversores estaban casi absolutamente cautivados por

la puesta en regadío de nuevas tierras y la redotación de otros tantos predios deficitarios de agua hasta los entonces.

En 1995, dos décadas después, ya se dispone de las 440 has referidas con un incremento porcentual del 80% con respecto al dato de mediados de los años setenta. La eclosión definitiva y la intensificación del ahora imparable incremento de superficie industrial viene señalado por el dato del presente año que, según nuestra investigación se sitúa en las 780 has dedicadas a usos secundarios.

Así pues, se puede apuntar que en el plazo de los últimos cinco años se ha duplicado el suelo disponible y que, mientras se necesitaron 20 años en la primera fase para consolidar la distribución del suelo en los municipios de la comarca, en esta segunda fase en la que todavía nos encontramos, con tan sólo ese quinquenio referido, se han expandido las zonas industria-

les triplicando el territorio original de este análisis y con sólidas previsiones de continuidad en la tendencia de incremento detectada.

Esta última valoración se extrae a raíz de las recientes noticias de prensa aparecidas que ratifican la concepción sociopolítica que ha arraigado en las instituciones públicas locales así como en las opiniones vertidas por los sectores empresariales más dinámicos de la Vega Baja.

De este modo, y como botón de muestra de estas apreciaciones, se puede citar la literalidad de un párrafo recogido en el apartado de “Justificaciones” del Edicto del Excmo. Ayuntamiento de Orihuela de 12 de abril de 2000. A saber:

“En cabal aplicación de estos preceptos (...), así como con el compromiso adquirido con los ciudadanos en su momento, es intención del equipo de gobierno municipal de esta Corporación, dotar al municipio de todo el suelo industrial urbanizado preciso, para dar satisfacción al empresario de la comarca de la Vega Baja del Segura, así como a todos aquellos jóvenes emprendedores que carecen de recursos propios y con limitaciones para un endeudamiento financiero suficiente que permita acceder al escaso suelo urbanizable existente, y, por escaso, de elevado precio”.

Siguiendo con los razonamientos aludidos, y corroborando esas previsiones de habilitación de nuevos espacios industriales, en el mismo documento administrativo que antes señalábamos, se recoge un “aviso a navegantes” meridianamente claro y definitivo:

“Se considera esta zona –entorno del actual Polígono Puente Alto y la N-340– la más adecuada para iniciar con ella las actuaciones industriales en el municipio de Orihuela. Sin embargo, conviene aclarar, que ésta no es más que la primera de las actuaciones industriales en Orihuela y sus pedanías”.

En otro documento técnico que, en concreto viene a ser un “Proyecto de Plan Parcial Industrial” denominado “V1-Bigastro Industrial” presentado en el propio Ayuntamiento de la capital comarcal, se constata en la pág. 13 de la Memoria y en el apartado referido a la

“viabilidad económica” de la actuación urbanística de referencia que: *“La gran demanda de suelo industrial en la Comarca, como complemento a la extensa oferta comercial, hace que esta actuación sea totalmente viable...”*.

Las bases ideológicas, como anticipábamos, ya están puestas, y podemos avanzar que esta “carrera” ha colocado a casi todos los municipios en los cajones de salida sin que se haya reflexionado suficientemente en términos de gestión del espacio físico con escalas mayores a los propios límites administrativos de cada entidad local y, en demasiadas ocasiones, ni en este ámbito más reducido se planifica con sentido estratégico y con una concepción sostenible del desarrollo.

La necesaria ordenación de los espacios industriales para la protección simbiótica del entorno huertano de la Vega Baja.

Del análisis de los asentamientos industriales de la comarca, también extraemos otros datos que nos permiten reflexionar acerca del acervo socioeconómico que, en forma de una secuencia histórica, revela la diversidad de relaciones que los agentes sociales y económicos han protagonizado en este ámbito geográfico.

Así pues, partiendo de una cuantificación numérica de la representación que dispone cada tipología de espacio industrial presente en la Vega, llegaremos a definir tanto las disfunciones o impactos que consecuentemente pueden ocasionar en el territorio, como las líneas de actuación para su probable y necesaria corrección.

En la actualidad tenemos constancia fidedigna de 23 “polígonos industriales” ya construidos o en proceso de estructuración y 6 más proyectados para su inmediata ejecución. Además, existen 21 “áreas industriales” con su característica localización periurbana y que no alcanzan, en la mayoría de los casos, las 5 has. de superficie total.

Finalmente, la comarca acoge al menos 7 “enclaves industriales” debidamente localizados que, por sí mismos, esquematizan la diversidad sectorial del sector secundario y también simbolizan, simplifícadamente,

un buen perfil de la historia económica reciente de este territorio, junto con la “modelización” de diferenciadas casuísticas de impacto ambiental que estos espacios productivos ejercen sobre el territorio. Estos enclaves, que ahora por obvias condicionantes del formato del presente trabajo no pueden ser desarrollados, se concentrarían en: “LAS SALINAS” de Torrevieja, “AUTOBATERÍAS VARTA BOX” de Guardamar del Segura, “DRAPE-COTT” en el casco urbano de Orihuela, “INDALVA, S.L.” en las cercanías de la capital comarcal (entorno a la Urb. Montepinar), “PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS OLÉ” en San Bartolomé (Orihuela), “GRUPO VALERO” en Cox y “MEDIFROST, S.L.” en Bigastro.

Los enclaves referidos, disponen de unas formas de relación con el espacio físico que los acoge cercanas al conflicto e, incluso, a la colisión con otros tantos usos del suelo posibles que se presentan cuasi incompatibles entre sí.

Después de este repaso por la situación actual de la ocupación del suelo dedicado a las actividades industriales en la Vega Baja, nos resta únicamente la formulación sintética de los problemas detectados que todavía disponen de serias posibilidades de solución, así como la definición de unas conclusiones que pretenden orientar tendencias, indistintamente de la demostración ya realizada relativa a la constante ampliación de los parcelarios que disponen de usos secundarios.

Por tanto, por un lado tendremos disfunciones relativas a lo que Canales Martínez y Belando Carbonell han llegado a denominar “paisajes industriales rurales” y, por otro, aquellas dificultades que responden a los espacios industriales consolidados que ya hemos venido describiendo.

Por lo que respecta a la primera clasificación, y aún considerando que todavía se presentan residuos de las prácticas tradicionales de ocupación del suelo en zonas rústicas, referidas en particular a las construcciones aisladas del tipo “almacén” cercanas a los caminos rurales; la tendencia, incluso en los pequeños municipios, se dirige a la conformación de “polígonos indus-

triales” en franca competencia con las localidades más pobladas y que ya disponen tanto de suelo industrial suficiente en sus respectivos planeamientos, como de asentamientos consolidados y/o proyectados bajo directrices adecuadas a los requisitos que demandan los potenciales inversores o empresarios.

Por ello, parece razonable considerar que, los problemas derivados de esos hábitos constructivos, fuera de ordenación como en otro instante hemos subrayado, son corregibles, siempre y cuando las autoridades locales no sólo ejerciten los procedimientos administrativos que impidan la continuación de aquéllos, sino también formalicen en sus instrumentos urbanísticos la oferta de suelo industrial que se estime precisa en consideración a las auténticas necesidades de las poblaciones afectadas.

En lo relativo a los municipios de mayor tamaño, el incremento y la corrección de los déficits se circunscribirá a la ordenación de los espacios industriales disponibles y en la definición de sus emplazamientos actuales y futuros más idóneos. Con este motivo los aspectos más relevantes que se estima imprescindible cuidar en lo posible serán los que siguen:

- Protección de las áreas y usos naturales que constituyen los principales valores del medio físico.
- Establecimiento definitivo y estricto de las incompatibilidades de usos, facilitando el traslado de los usos molestos a zonas indicadas.
- Creación de dotaciones y equipamientos propios del terciario avanzado, con la cumplimentación de los más modernos requisitos de calidad, por medio de la implantación de procesos industriales “limpios”.
- Conexión de las distintas zonas urbanas que se encuentran dispersas y vertebración de sus áreas intersticiales.
- Incardinación de las actividades industriales en el establecimiento de una estructura general del territorio municipal/comarcal que resuelva adecuadamente las carencias, dentro de un riguroso “modelo de ciudad/comarca”.
- Jerarquización de los actuales asentamientos

industriales de la Vega Baja en términos de oportunidad logística, localización, especialización y complementariedad con otras zonas industriales ubicadas en comarcas vecinas, pero también en consideración a factores relativos a la reducción-amortiguación de impactos socioambientales.

En este sentido, para avanzar la opción de futuro que esta comunicación defiende, nos detendremos en explicitar el último punto que hemos señalado. Así, es conveniente clarificar el posicionamiento favorable de la actual distribución de polígonos-enclaves-entornos industriales radicados en el territorio comprendido entre los términos municipales de Orihuela, Almoradí, Dolores y Albatera, primordialmente, promoviendo, no obstante, el desarrollo de las actividades secundarias en aquellos municipios del entorno de este núcleo duro desde una perspectiva industrial que dispondría de pymes más cercanas al modelo tradicional de taller familiar-pequeño almacén-establecimiento manufacturero complementario para la economía de cada localidad o como actividades de apoyo a las industrias de mayor tamaño y especializadas que debieran estar radicadas en lo que podríamos denominar ya como “área industrial de primer rango de la Vega Baja”.

Para alcanzar este objetivo estratégico ineludible, basado en una actitud acerca del crecimiento, de equilibrio territorial y sostenibilidad del espacio geográfico que acoge las actividades humanas, será también conveniente atraer al área determinados asentamientos del tipo de: feria de muestras, centros de convenciones, centros de innovación o centros logísticos de abastecimiento y distribución, sin olvidar las instalaciones de ámbito comarcal como ya es el caso de la Lonja Hortofrutícola, el Matadero o el Centro Comarcal de Teletrabajo radicados todos en el Polígono Industrial “Puente Alto” de Orihuela.

Una vez que se han situado las perspectivas y tendencias más idóneas para conformar un desarrollo industrial armónico con el medio que lo acoge, ya no bastará con hacer manifestaciones de alerta en torno a

la presencia en este territorio peculiar del efecto denominado de “frontera” que la propia localización de las empresas e industrias en tiempos recientes pueden estar consolidando negativamente. En este sentido, será conveniente huir del modelo de industrialización de segundo orden, en cuanto que hace referencia a la tipología de industrias “maduras” que han sido expulsadas de las comarcas limítrofes más desarrolladas y con imposición de mayores exigencias de calidad e innovación tecnológica.

Para la defensa de este planteamiento de selección estratégica, habrá que recordar que es preciso limitar en la medida de lo posible, —pero sin cejar en el empeño por parte de las autoridades locales exigiendo los más avanzados estándares de niveles óptimos de calidad empresarial— las desfavorables consecuencias de una expansión industrial “desarrollista”, basada en el desorden que provoca el efecto “aluvión” de estas mercantiles que buscan suelo barato, mano de obra poco conflictiva y “manos libres” para su instalación con escasos o nulos costes de inversión en infraestructuras que, más tarde que pronto, tienen que ser financiados por el capital público.

El contexto geográfico de la Vega Baja reúne todas las características de un paisaje huertano plagado de una enriquecedora amalgama de recursos medioambientales, socioculturales y de índole patrimonial histórica. Este espacio físico muy bien podría ser declarado como “Bien de Interés Cultural” y disponer de una regulación adecuada a través de un Plan Especial de Ordenación de los Recursos de la Huerta. Esta catalogación proteccionista estaría cercana a la figura jurídica relativa a los planes rectores de uso y gestión (P.R.U.G.), que permiten la planificación y la gestión de determinados espacios naturales protegidos.

En la línea de lo que hemos remarcado, se presenta el debate —plenamente válido para esta comarca— que afecta a la Huerta de Valencia. Para ilustrar el momento del caso señalado y que es perfectamente extrapolable, a nuestro juicio, para la Vega Baja, es

conveniente referir una información recogida por el Diario "El País-Cdad. Valenciana" del día 2 de mayo de 2000 que, por su claridad, vamos a relatar con un extracto literal:

"La Generalitat parece tener muy clara la importancia de este singular espacio natural de la comarca de l'Horta (léase en su lugar la Vega Baja del Segura) a tenor de los informes elaborados por las Consellerías de Medio Ambiente y Obras Públicas-Urbanismo para el C.V.C. (Consejo Valenciano de Cultura), el órgano consultivo autonómico en materia cultural... la propia C.O.P.U.T. señala que este espacio huertano dispone de un valor mucho mayor que el de la estricta contribución al P.I.B. regional..., la Consellería apunta la posibilidad de declarar toda la Huerta, B.I.C., al tiempo que afirma sin ambages la conveniencia de conservar bajo este nivel de protección "la red de acequias históricas y tradicionales de la huerta valenciana; conservando su perímetro original y su configuración abierta. Además aboga por la redacción de un Plan Especial para la Protección del Patrimonio Rural. Por su parte, la Consellería de Medio Ambiente subraya que hay que abordar sin dilación este problema desde una óptica global y de consenso social, estableciendo criterios de protección y definiendo un modelo futuro para la huerta que establezca, de una vez por todas, el papel territorial que los valencianos queremos otorgar a este espacio... Como la planificación territorial tendrá que ser supra-municipal, deberá aunar intereses muy distintos y coordinar diferentes administraciones. Por todo ello, Medio Ambiente propugna un pacto social".

Esta comunicación suscribe el posicionamiento y la reflexión anterior, considerando la compatibilización de los diversos usos del suelo desde una perspectiva simbiótica de la ordenación del territorio de la Vega Baja, y ello, deberá realizarse con la co-responsabilidad de todos los habitantes de la comarca junto con los poderes públicos que, en la práctica, serán los encargados de activar las bases de ese obligado consenso por la sostenibilidad de las actividades industriales y, por extensión, las socioeconómicas en general.

Bibliografía

- BELANDO CARBONELL, R y CANALES MARTÍNEZ, G.: Proceso de industrialización reciente en los municipios huertanos del Bajo Segura (Alicante). III Reunión de Geog^a. Industrial, Sevilla, Asoc. Geógrafos Españoles, Univ. de Sevilla, 1990.
- CÁMARAS DE COMERCIO, INDUSTRIA Y NAVEGACIÓN DE ALICANTE, ALCOY, CASTELLÓN, ORIHUELA Y VALENCIA: Localización y características del suelo industrial en el País Valenciano. Alicante, 1978.
- CANALES MARTÍNEZ, G. (Dir.): El Bajo Segura. Estructura espacial, demográfica y económica. Fundación Cultural C.A.M.-Universidad de Alicante. Murcia, 1995.
- CONSELLERÍA DE EMPLEO, INDUSTRIA Y COMERCIO-SEPIVA: Catálogo de Suelo Industrial de la Comunidad Valenciana. Valencia, 1997.
- DÁVILA LINARES, J.M. y PONCE HERRERO, G.: El proceso de industrialización rural de un área periférica: El Valle del Vinalopó (Alicante). III Reunión de Geografía Industrial. Asoc. Geógrafos Españoles-Univ. de Sevilla. 1990.
- DIARIO "EL PAÍS-CDAD. VALENCIANA": Las instituciones alertan de la desaparición de la huerta si no se adoptan medidas urgentes. Martes, 2 de mayo de 2000.
- EXCMO. AYUNTAMIENTO DE ORIHUELA: Plan General de Ordenación Urbana. 1990.
- HERNÁNDEZ PASCUAL, Clemente: La Vega Baja del Segura. U.A., Alicante, 1990, pp. 139.
- HERNÁNDEZ PASCUAL, CLEMENTE y ALCA-RAZ GARCIA, E.: Cambios en el tejido empresarial de la provincia de Alicante. FUNDESEM, 1989.
- MARTÍNEZ PÉREZ, F.J.: Reflexiones sobre el futuro de los actuales espacios industriales en la Comunidad Valenciana, en Actas (ponencias y comunicaciones) de la VII^ªs Jornadas de Geografía Industrial. Univ. de Alicante, 27-29 octubre de 1999.

MAZÓN MARTÍNEZ, T.: Introducción a la planificación urbana. Col. Amalgama, nº 16. Ed. Aguaclara. Alicante, 1997.

MELIS MAYNAR, ANA; CANALES MARTINEZ, G.: La industria del calzado en el Bajo Segura. Alquibla nº 4, pp. 203-229. Murcia, 1998.

ORTEGA DOMÍNGUEZ, R. y RODRÍGUEZ MUÑOZ, I.: Manual de Gestión del Medio Ambiente. Fundación MAPFRE. Madrid, 1994.

PREVASA: Estudios Básicos par la ordenación del territorio C.V. (2ª Parte). Situación actual, problemática y perspectivas de desarrollo de las Comarcas Valencianas. XXIV, La Vega Baja del Segura. Valencia, 1981.

SEBASTIÁ ALCARAZ, RAFAEL: Inversión industrial y estructuración del territorio en la Vega Baja del Segura, en Alquibla, nº 4, 1998, pp. 495-524.

Análisis de la calidad agronómica de las aguas de los azarbes Millanares-Mudamiento y Abanilla

■ *Gómez Lucas, I.; Berenguer Giménez, L.; Ayguadé Cantó, H.; Navarro Pedreño, J.; Mataix Solera, J.*

Dpto. de Agroquímica y Bioquímica. Universidad de Alicante

Introducción

En la Vega Baja del Segura se han ido desarrollando complejos sistemas hidráulicos en los regadíos, que han ido creando una complicada red de arterias de riego, que constituyen circuitos de continuo rehuso del agua, distribuida mediante acequias y azarbes, donde las “aguas vivas” (limpias) se convierten en “aguas muertas” (sucias) y todas son de riego. Este extenso entramado de cauces de riego constituyen un ejemplo de utilización y reutilización del recurso hídrico hasta su total aprovechamiento (5, 6), pudiendo una misma agua regar hasta tres o cuatro terrenos o suelos distintos. Las varias reutilizaciones pueden conducir, potencialmente, a un progresivo deterioro de la calidad de las aguas, puesto que éstas pueden cambiar su composición al lixiviarse a través de los suelos y, además, los cultivos que se riegan con ellas tienen distinta tolerancia a la salinidad y a los productos que pueden contener (3), como resultado de las distintas prácticas culturales que se realizan de manera habitual. Por estas razones, entre otras, entendemos que es importante conocer como

evoluciona la calidad de las aguas a lo largo de su uso en las acequias y azarbes.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar la calidad de las aguas de dos azarbes que, llegado un punto, dejan de ser tales para convertirse en caudales de riego: El Azarbe de Millanares-Mudamiento y el Azarbe de Abanilla.

Metodología

Las tomas de muestras se realizaron los días 19 y 28 de julio y 6 de agosto de 1999, dentro de la tanda de riego que comenzó el 15 de julio y finalizó el 9 de agosto. En cada una de ellas se analizó el agua en 6 puntos del Azarbe de Abanilla y en 7 del Azarbe de Millanares-Mudamiento y, además, se tomó una muestra de referencia en la Acequia Mayor de Callosa, en las tres fechas de muestreo. El volumen de muestreo fue de 1 l.

El azarbe de Abanilla tiene una longitud aproxima-

da de 20 km y la pauta de muestreo en este azarbe es la que se indica a continuación. La primera muestra fue tomada a 2,5 km del inicio del azarbe en el cruce con la Vereda de los Clérigos; la segunda se tomó a 3,6 km de la anterior, antes de juntarse con el corredor del Mudamiento; la tercera se recogió a 1,5 km de la anterior, justo donde las aguas del azarbe pasan a ser aguas vivas y justo antes de soterrarse el azarbe; la cuarta fue recogida a 1,7 km de la anterior, donde el azarbe vuelve a la superficie; la quinta muestra a 2 km de la anterior, antes de juntarse con el Azarbe del Mayayo; y finalmente la sexta poco después de unirse con el Mayayo.

El Azarbe de Millanares-Mudamiento tiene una longitud total aproximada de 12,5 km desde su inicio en la Media Legua hasta su desembocadura en el Azarbe de Abanilla. La localización de los muestreos a lo largo del Azarbe de Millanares es la siguiente: la primera muestra se tomó coincidiendo con la salida a la superficie del azarbe, la segunda a 1 km del punto anterior, antes de la incorporación del Azarbe de los Olmos; la tercera muestra se recogió a 1,1 km del punto anterior después de la incorporación del Azarbe de los Olmos y de la Arroba del Arbellón; la cuarta se tomó a 2,3 km del anterior tras la incorporación del Azarbe de la Anguililla y de la Acequia de Guardalacapa; la quinta se tomó 1,85 km del anterior en el entronque del Brazal de Lonsordo donde se encuentra la primera compuerta de riego y, por tanto, donde las

aguas del azarbe pasan a ser aguas vivas; la sexta muestra fue recogida a 2,55 km del anterior y por último se recogió la séptima muestra a 2,7 km de la anterior, antes de juntarse con el Azarbe de Abanilla.

Se tomó las muestras en la Acequia Mayor de Callosa, detrás del Colegio Santo Domingo de Orihue-la, en el punto donde la acequia sale a la superficie.

Las determinaciones efectuadas fueron: pH, CE, Na, K, Ca, Mg, Cl, CO₃, HCO₃, SO₄, Fe, Mn, Cu, Zn, NO₃, PO₄, B, NH₄, Cd, Cr, Pb y Ni. Siguiendo la metodología especificada en la bibliografía consultada (1, 2, 3, 4, 7).

Resultados y discusión

En las tablas 1, 2 y 3 se indican los resultados de los análisis de las aguas correspondientes a los azarbes de Abanilla, Millanares-Mudamiento y acequia de Callosa.

El valor de la C.E. se incrementa en ambos azarbes, respecto al agua de la Acequia Mayor, si bien sólo en algunos casos alcanzan valores algo altos en Millanares-Mudamiento, mientras que en el azarbe de Abanilla los contenidos en sales disueltas es bastante alto en algunos puntos, lo que tendría que tenerse en cuenta a la hora de evaluar su uso y las prácticas culturales realizadas sobre los cultivos. Los incrementos son desiguales para los cationes, siendo la pauta general Na>Ca=Mg>K. Los niveles de Ca,

Tabla 1. Resultado analítico muestreos en el Azarbe de Abanilla

| AZARBE DE ABANILLA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------|------------|------------|---------|--------|---------|---------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------------|
| PARÁMETROS ANALIZADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MUES TREO | Nº muestra | pH | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Na mg/L | K mg/L | Ca mg/L | Mg mg/L | Cl mg/L | SO ₄ mg/L | HCO ₃ mg/L | NO ₃ mg/L | NH ₄ mg/L | Fe mg/L | Mn mg/L | Cu mg/L | Zn mg/L | B mg/L | PO ₄ mg/L |
| 1 | 1 | 7,93 | 2970 | 1980 | 310 | 10 | 165 | 120 | 491 | 565 | 355 | 19 | 2,5 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,3 | 3,0 |
| | 2 | 7,94 | 5170 | 3410 | 581 | 92 | 225 | 200 | 975 | 957 | 442 | 34 | 1,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 0,8 |
| | 3 | 7,81 | 4820 | 3100 | 550 | 11 | 227 | 203 | 825 | 967 | 403 | 23 | 4,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,7 | 2,2 |
| | 4 | 7,74 | 3480 | 2325 | 374 | 13 | 189 | 136 | 600 | 594 | 442 | 2 | 3,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 4,0 |
| | 5 | 8,06 | 3320 | 2300 | 350 | 6 | 193 | 149 | 542 | 735 | 366 | 34 | 2,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 1,0 |
| | 6 | 7,96 | 2810 | 1810 | 262 | 9 | 151 | 119 | 447 | 498 | 351 | 28 | 5,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 7,7 |
| 2 | 1 | 7,21 | 4110 | 2920 | 461 | 15 | 221 | 166 | 726 | 892 | 358 | 75 | 2,9 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 |
| | 2 | 7,83 | 4030 | 2825 | 483 | 15 | 216 | 161 | 750 | 835 | 393 | 47 | 3,5 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,0 |
| | 3 | 7,89 | 3770 | 2600 | 440 | 14 | 201 | 161 | 713 | 723 | 416 | 48 | 3,9 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,0 |
| | 4 | 7,93 | 3170 | 2175 | 362 | 13 | 172 | 126 | 581 | 561 | 387 | 24 | 4,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,0 |
| | 5 | 7,95 | 3320 | 2260 | 357 | 14 | 197 | 138 | 594 | 587 | 409 | 40 | 4,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 |
| | 6 | 7,90 | 3170 | 2110 | 333 | 13 | 178 | 124 | 505 | 601 | 396 | 35 | 3,9 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,5 |
| 3 | 1 | 7,79 | 5960 | 4300 | 936 | 15 | 329 | 163 | 1420 | 1100 | 412 | 92 | 1,4 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 3,1 |
| | 2 | 7,69 | 4920 | 3475 | 726 | 17 | 293 | 124 | 1148 | 807 | 377 | 74 | 1,2 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 0,4 |
| | 3 | 7,71 | 4950 | 3580 | 743 | 17 | 297 | 128 | 1148 | 905 | 379 | 75 | 1,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 2,2 |
| | 4 | 7,73 | 4890 | 3650 | 757 | 20 | 313 | 126 | 1131 | 965 | 391 | 70 | 3,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 1,3 |
| | 5 | 7,85 | 3490 | 2625 | 466 | 13 | 251 | 118 | 709 | 764 | 354 | 59 | 2,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 |
| | 6 | 7,94 | 3300 | 2300 | 430 | 12 | 237 | 83 | 657 | 570 | 343 | 75 | 1,8 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 1,2 |

Tabla 2. Resultado analítico muestreos en el Azarbe de Millanares-Mudamiento

| AZARBE MILLANARES-MUDAMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|------|------------|------------|---------|--------|---------|---------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------------|
| PARAMETROS ANALIZADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MUES TREO | Nº muestra | pH | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Na mg/L | K mg/L | Ca mg/L | Mg mg/L | Cl mg/L | SO ₄ mg/L | HCO ₃ mg/L | NO ₃ mg/L | NH ₄ mg/L | Fe mg/L | Mn mg/L | Cu mg/L | Zn mg/L | B mg/L | PO ₄ mg/L |
| 1 | 1 | 7,82 | 2080 | 1525 | 200 | 6 | 161 | 88 | 307 | 481 | 350 | 23 | 4,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 1,2 |
| | 2 | 7,80 | 2300 | 1490 | 204 | 11 | 159 | 88 | 284 | 474 | 387 | 22 | 4,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 3,2 |
| | 3 | 7,92 | 2350 | 1670 | 228 | 5 | 172 | 100 | 360 | 451 | 372 | 17 | 4,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 3,6 |
| | 4 | 7,86 | 2100 | 1510 | 209 | 7 | 158 | 91 | 314 | 437 | 350 | 17 | 4,6 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 1,4 |
| | 5 | 7,85 | 1910 | 1310 | 175 | 6 | 120 | 75 | 281 | 325 | 356 | 14 | 4,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 3,7 |
| | 6 | 7,81 | 2100 | 1490 | 204 | 6 | 156 | 87 | 311 | 419 | 366 | 17 | 3,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 4,3 |
| | 7 | 8,00 | 5000 | 3460 | 580 | 12 | 255 | 218 | 886 | 1059 | 411 | 30 | 1,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,7 | 1,2 |
| 2 | 1 | 7,91 | 2130 | 1470 | 208 | 12 | 152 | 61 | 313 | 320 | 415 | 22 | 6,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0 |
| | 2 | 7,90 | 2510 | 1825 | 261 | 96 | 165 | 83 | 379 | 520 | 384 | 40 | 5,0 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,2 |
| | 3 | 7,93 | 2800 | 2050 | 274 | 69 | 131 | 110 | 400 | 612 | 415 | 34 | 23,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0 |
| | 4 | 7,91 | 2400 | 1675 | 245 | 12 | 157 | 88 | 366 | 440 | 392 | 18 | 6,41 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,0 |
| | 5 | 7,96 | 2260 | 1570 | 236 | 12 | 157 | 75 | 345 | 400 | 389 | 14 | 5,25 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 1,3 |
| | 6 | 7,89 | 2600 | 1805 | 253 | 12 | 161 | 124 | 382 | 505 | 378 | 28 | 4,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,9 |
| | 7 | 8,02 | 2670 | 1795 | 271 | 13 | 165 | 95 | 382 | 477 | 430 | 33 | 3,6 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,1 | 0,0 |
| 3 | 1 | 7,61 | 2330 | 1680 | 244 | 11 | 191 | 81 | 387 | 475 | 349 | 42 | 3,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 2,8 |
| | 2 | 7,65 | 2850 | 2125 | 329 | 12 | 182 | 133 | 472 | 680 | 371 | 79 | 2,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 2,3 |
| | 3 | 7,76 | 2630 | 2020 | 308 | 11 | 203 | 110 | 460 | 623 | 356 | 62 | 2,4 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 |
| | 4 | 7,76 | 2690 | 1974 | 300 | 13 | 195 | 113 | 455 | 608 | 354 | 71 | 3,8 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 2,8 |
| | 5 | 7,80 | 2660 | 1952 | 312 | 9 | 205 | 97 | 449 | 624 | 344 | 59 | 3,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 2,7 |
| | 6 | 7,85 | 2560 | 1910 | 281 | 13 | 208 | 106 | 436 | 583 | 346 | 51 | 2,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 1,6 |
| | 7 | 8,19 | 2650 | 1860 | 310 | 12 | 170 | 83 | 494 | 427 | 305 | 41 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 1,3 |

Tabla 3. Resultado analítico muestreos en la Acequia Mayor de Callosa

| ACEQUIA MAYOR DE CALLOSA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------|------|------------|------------|---------|--------|---------|---------|---------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|--------|----------------------|
| PARAMETROS ANALIZADOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MUES TRO | Nº muestra | pH | CE (µS/cm) | STD (mg/L) | Na mg/L | K mg/L | Ca mg/L | Mg mg/L | Cl mg/L | SO ₄ mg/L | HCO ₃ mg/L | NO ₃ mg/L | NH ₄ mg/L | Fe mg/L | Mn mg/L | Cu mg/L | Zn mg/L | B mg/L | PO ₄ mg/L |
| 1 | 1 | 7,75 | 1530 | 1015 | 128 | 3 | 117 | 56 | 210 | 206 | 320 | 5 | 3,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 5,7 |
| 2 | 1 | 7,71 | 1790 | 1125 | 148 | 11 | 114 | 46 | 251 | 230 | 321 | 6 | 5,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 1,0 |
| 3 | 1 | 7,50 | 2040 | 1400 | 210 | 10 | 154 | 55 | 302 | 312 | 384 | 43 | 4,6 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 1,7 |

Mg y K pueden considerarse como normales, si bien el aporte de magnesio con el riego es apreciable, siendo las concentraciones de sodio las más elevadas cuando la conductividad de agua se incrementa. De entre los aniones, cloruros y sulfatos son los que presentan una mayor variación en las muestras analizadas. La concentración de nitratos no suele sobrepasar el meq/l, y la de amonio y fósforo es prácticamente despreciable. El intervalo de concentración de boro está entorno, a 0,5-1,0 ppm, por lo que conviene vigilar su posible repercusión en cultivos sensibles. Los niveles de microelementos esenciales son muy bajos, sólo detectándose la presencia de hierro a unas dosis muy bajas. Las concentraciones de metales pesados no esenciales (Ni, Pb, Cr y Cd) están por debajo del límite de detección del ICP.

Agradecimientos

Quiero agradecer el interés manifestado por las personas que se citan, por el planteamiento y desarrollo del presente estudio:

D. Terencio Huertas, Síndico del Juzgado Privativo de Aguas de Rojasles.

D. Santiago Pascual, Secretario de Jóvenes Agricultores de Alicante.

D. Aníbal Bueno, Secretario del Juzgado Privativo de Aguas de Orihuela.

Bibliografía.

1. AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.: La calidad del agua en la agricultura. Estudio F.A.O. riego y drenaje. 29. 1987.

2. CÁNOVAS CUENCA, J.: Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. Ed. Publ. Extensión Agraria. Madrid. 1993.

3. DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.: Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio F.A.O. riego y drenaje. 33. 1986.

4. GÓMEZ LUCAS, I.; NAVARRO PEDREÑO, J.; MATAIX BENEYTO, J.: Aguas de riego: Análisis e interpretación. Universidad de Alicante. 1992.

5. JUZGADO PRIVATIVO DE AGUAS DE GUAR-

| | |
|--|--|
| DAMAR DEL SEGURA (Ed.). 1985-1995, 10 años mejorando nuestra huerta. 1995. | la Contraparada (Murcia) hasta Guardamar del Segura (Alicante). Ed. MOPTMA-GV, 1995. |
| 6. M.O.P.T.M.A. Encauzamiento del río Segura desde | 7. RODIER, J.: Análisis de Aguas. Ed. Omega. 1981. |

Evaluación de parámetros de calidad del agua del río Vinalopó

► *Gómez Lucas, I.; Brú Martínez, R.;
Casado Vela, J.*

Dpto. de Agroquímica y Bioquímica. Fac. Ciencias.
Universidad de Alicante

El Sur de la Comunidad Valenciana pertenece a un área climática caracterizada por temperaturas medias estivales superiores a 22 °C y muy bajos niveles de precipitaciones. Como consecuencia, se ha generado una situación de sobreexplotación de recursos fluviales y de acuíferos subterráneos, para cubrir las necesidades hídricas más inmediatas.

El río Vinalopó recorre casi la totalidad de la provincia de Alicante de Norte a Sur. Su mala gestión a lo largo de los años y lo ha transformado en un recurso irregular y escaso en caudal y propiedades del agua. El vertido de aguas residuales, escombros y basuras a su cauce amenazan el aprovechamiento futuro de este cauce. El análisis del agua que discurre por los diferentes tramos de su curso revela el diferente grado de contaminación a lo largo del cauce y ayuda al planteamiento de soluciones a largo plazo.

Objetivos

El objetivo principal es la caracterización parcial del agua del río Vinalopó a lo largo del curso, con especial atención a su grado de contaminación

orgánica y calidad agronómica, teniendo en cuenta que los principales usos actuales son el aprovechamiento industrial, recurso para ganadería y riego de parcelas agrícolas. Por esta razón hemos elegido parámetros químicos, físicos y microbiológicos que proporcionan una información y objetiva de las diferentes características del agua a lo largo del cauce.

Metodología

El estudio se lleva a cabo en 10 puntos de muestreo a lo largo del curso del río, empezando en el nacimiento Bañeres (muestreo 1) y hasta su paso por la depuradora del término municipal de Elche (muestreo 10), tal y como se indica en la Tabla 1.

El curso del río se ha repartido en intervalos regulares y también se han incluido puntos de especial interés por sus repercusiones en el entorno o por su elevada contaminación.

Este mismo diseño de muestreo se ha repetido en dos épocas diferentes: MUESTREO 1 (22/noviembre/1998) y MUESTREO 2 (9/marzo/1999), con la finalidad de estimar la variabilidad de los resultados

obtenidos, influenciados, sin duda, por factores tales como condiciones meteorológicas y cantidad y tipo de vertidos realizados al cauce.

En cada uno de los puntos de muestreo se recogieron muestras de agua para la determinación de los parámetros indicados en la Tabla 2:

Tabla 1
Puntos de muestreo a lo largo del curso de río Vinalopó

| Nº MUESTRA | UTM | DESCRIPCION |
|------------|--------------------------|--|
| 1 | 4288800 N 30706464 E | Nacimiento (cabecera del río) |
| 2 | 4287400 N 30699250 E | Bañeres (cerca del núcleo urbano) |
| 3 | 4287350 N 30698847 E | Bañeres (próximo al polígono industrial) |
| 4 | 4271389 N 30687550 E | Sta. Eulalia (término municipal) |
| 5 | 4266200 N 3069836 E | Sax (salida a Elda) |
| 6 | 4259639 N 30691400 E | Elda (polígono industrial) |
| 7 | 4250824 N 30696598 E | Novelda (Castillo de la Mola) |
| 8 | 4250824 N 30696598 E | Novelda (polígono industrial) |
| 9 | 42380600 N 30701370 E | Elche (núcleo urbano) |
| 10 | 4234400 N 30700650 E | Elche (cerca de la depuradora) |

Tabla 2
Parámetros analizados

| PARAMETROS FÍSICOS Y CALIDAD AGRONÓMICA | PARÁMETROS QUÍMICOS | PARAMETROS BIOLÓGICOS |
|--|---|---|
| pH C.E. (µs/cm) STD (mg/L) S.A.R. C.S.R. Dureza (grados franceses) Coeficiente Scott S.A.R. ajustado % Na respecto cationes Normas Riverside Normas Wilcox | Na (mg/L) K (mg/L) Ca (mg/L) Mg (mg/L) Cloruros (mg/L) Sulfatos (mg/L) Carbonatos (mg/L) Bicarbonatos (mg/L) Fe (mg/L) Mn (mg/L) Cu (mg/L) Zn (mg/L) | DBO5 (mg/L) Colif. Totales (U/100 mL) Colif. Fecales (U/100 mL) Enterococos (U/100 mL) Clostridios (U/100 mL) |

Los métodos de análisis son los indicados por la bibliografía consultada (1, 2, 4, 5) para cada uno de los parámetros.

Discusión

El cauce del río Vinalopó se caracteriza por un pH básico debido fundamentalmente a la litología del sustrato por donde discurre, fundamentalmente de calizas y margas, con un alto contenido en carbonatos, con valores de conductividad eléctrica y de sales disueltas bajos en la cabecera del río y progresivamente elevados en dirección a la desembocadura. Los contenidos de nutrientes son apropiados para el uso del agua para riego agrícola solamente en los cuatro primeros puntos de muestreo, ya que a partir del quinto la cantidad de sales solubles y, en particular, las elevadas concentraciones de Na, Cl y sulfatos pueden resultar perjudiciales por sus efectos de acumulación en las capas superiores del suelo y pérdida de su estructura y repercutir muy negativamente sobre las plantas que se riegan con esta agua. Los vertidos que se producen a lo largo del cauce y el pastoreo extensivo en las riberas origina que en el agua se incrementen los valores de DBO y la contaminación por microorganismos fecales.

Las industrias de textil, los residuos de canteras y pastas marmóleras y el vertido de aguas residuales al cauce representan el principal riesgo potencial en el proceso de degradación y contaminación de esta fuente de recursos hídricos, por lo que sería necesario controlar los efluentes que se incorporan al cauce del Vinalopó y recuperar la calidad de su agua y su entorno.

Bibliografía

1. AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.: La calidad del agua en la agricultura. Estudio F.A.O. riego y drenaje. 29. 1987.
2. CÁNOVAS CUENCA, J.: Calidad Agronómica de las Aguas de Riego. Ed. Publ. Extensión Agraria. Madrid. 1993.
3. DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.: Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio F.A.O. riego y drenaje. 33. 1986.
4. GÓMEZ LUCAS, I.; NAVARRO PEDREÑO, J.; MATAIX BENEYTO, J.: Aguas de riego: Análisis e interpretación. Universidad de Alicante. 1992.
5. RODIER, J.: Análisis de Aguas. Ed. Omega. 1981.

Tabla 3
Resultados del primer muestreo

| MUESTREO 22/Noviembre/1998 | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | ° 10 |
| PARAMETROS FISICOS Y CALIDAD AGRONÓMICA | pH | 8,1 | 8,0 | 7,9 | 8,2 | 8,4 | 8,4 | 8,8 | 8,4 | 8,2 |
| | C.E. (µs/cm) | 300 | 620 | 700 | 2940 | 6600 | 15800 | 11870 | 11510 | 10750 |
| | STD (mg/L) | 200 | 380 | 450 | 1950 | 4220 | 10150 | 7460 | 7460 | 6980 |
| | S.A.R. | 1,1 | 0,9 | 2,5 | 7,2 | 13,3 | 36,0 | 26,1 | 20,6 | 17,7 |
| | C.S.R. | -1,3 | -4,0 | -3,3 | -8,9 | -20,5 | -23,6 | -24,3 | -33,9 | -36,6 |
| | Dureza (grados franceses) | 9,1 | 20,8 | 17,0 | 55,5 | 109,1 | 144,0 | 135,0 | 179,1 | 193,1 |
| | Coefficiente Scott | -34,8 | -9,6 | -20,2 | -14,6 | 101,7 | 0,6 | 1,1 | 1,9 | 0,7 |
| | S.A.R. ajustado | -2,1 | 0,5 | 1,1 | 14,8 | -21,7 | 193,9 | 132,1 | 103,3 | 89,8 |
| | % Na respecto cationes | 35,2 | 22,8 | 46,9 | 54,8 | 65,2 | 81,4 | 76,8 | 70,0 | 65,9 |
| | Normas Riverside | C2-S1 | C2-S1 | C2-S1 | C4-S3 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 |
| | Normas Wilcox | excelente a buena | excelente a buena | excelente a buena | dudosa no valida | no valida | no valida | no valida | no valida | no valida |
| PARAMETROS QUÍMICOS | Na (mg/L) | 25 | 30 | 75 | 388 | 1010 | 3142 | 2200 | 1785 | 1535 |
| | K (mg/L) | 7 | 11 | 11 | 108 | 66 | 93 | 72 | 59 | 59 |
| | Ca (mg/L) | 15 | 63 | 37 | 81 | 200 | 304 | 269 | 479 | 379 |
| | Mg (mg/L) | 12 | 12 | 18 | 85 | 143 | 165 | 164 | 177 | 177 |
| | Cloruros (mg/L) | 30 | 42 | 90 | 560 | 1280 | 4226 | 3280 | 2982 | 3030 |
| | Sulfatos (mg/L) | 80 | 198 | 184 | 591 | 1381 | 1830 | 1313 | 1646 | 1280 |
| | Carbonatos (mg/L) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2,2 | 1,1 | 0,0 |
| | Bicarbonatos (mg/L) | 34 | 7,4 | 7,7 | 131 | 79 | 313 | 157 | 106 | 116 |
| | Fe (mg/L) | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 1,1 | 1,1 | 0,1 | 0,6 |
| | Mn (mg/L) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| | Cu (mg/L) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| | Zn (mg/L) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | DBO5 (mg/L) | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 8 | 12 | 2 | 5 |
| | Colif. Totales (U/100 mL) | 100 | 15000 | 13000 | 2000 | 1000 | 100 | 100 | 10000 | 50000 |
| PARAMETROS BIOLÓGICOS | Colif. Fecales (U/100 mL) | 30 | 40000 | 8000 | 500 | 200 | 80 | 50 | 15000 | 12000 |
| | Enterococos (U/100 mL) | 30 | 20000 | 40000 | 200 | 300 | 10 | 10 | 1000 | 1200 |
| | Clostridios (U/100 mL) | 2 | 20 | 50 | 30 | 50 | 100 | 500 | 100 | 80 |

Tabla 4
Resultados del segundo muestreo

| MUESTREO 9/Marzo/1999 | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------|--------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| PARAMETROS FÍSICOS Y CALIDAD AGRONÓMICA | pH | 8,2 | 7,6 | 7,7 | 8,2 | 8,4 | 8,3 | 8,6 | 8,4 | 8,5 |
| | C.E. (µs/cm) | 250 | 850 | 700 | 4000 | 7240 | 21700 | 13950 | 11790 | 12050 |
| | STD (mg/L) | 165 | 545 | 495 | 2800 | 4700 | 14100 | 9000 | 7740 | 8100 |
| | S.A.R. | 1,1 | 1,8 | 1,3 | 2,4 | 9,3 | 50,2 | 32,2 | 23,8 | 24,3 |
| | C.S.R. | -1,5 | -5,1 | -4,5 | -28,8 | -30,0 | -31,6 | -27,3 | -30,8 | -32,1 |
| | Dureza (grados franceses) | 7,9 | 26,8 | 26,6 | 170,1 | 176,9 | 169,3 | 149,8 | 167,9 | 170,9 |
| | Coefficiente Scott | -31,9 | -9,4 | -10,3 | 5,5 | -4,3 | 0,3 | 0,4 | 1,1 | 1,2 |
| | S.A.R. ajustado | -0,1 | 1,8 | -3,2 | 13,6 | 51,2 | 255,2 | 164,4 | 123,6 | 123,0 |
| | % Na respecto cationes | 37,5 | 34,2 | 28,7 | 22,9 | 51,9 | 85,2 | 79,8 | 73,8 | 74,0 |
| | Normas Riverside | C2-SI | C3-SI | C2-SI | C4-S3 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 | superior a C4 |
| PARAMETROS QUÍMICOS | Na (mg/L) | 22 | 67 | 51 | 236 | 903 | 4746 | 2866 | 2246 | 2309 |
| | K (mg/L) | 1 | 11 | 8 | 22 | 42 | 77 | 60 | 44 | 44 |
| | Ca (mg/L) | 15 | 73 | 61 | 469 | 469 | 463 | 396 | 457 | 434 |
| | Mg (mg/L) | 9 | 20 | 27 | 128 | 144 | 130 | 122 | 130 | 151 |
| | Cloruros (mg/L) | 30 | 90 | 77 | 370 | 1278 | 7538 | 4752 | 3444 | 3439 |
| | Sulfatos (mg/L) | 77 | 233 | 210 | 1295 | 1503 | 901 | 737 | 1194 | 1533 |
| | Carbonatos (mg/L) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Bicarbonatos (mg/L) | 4,1 | 17 | 47 | 311 | 319 | 136 | 157 | 166 | 126 |
| | Fe (mg/mL) | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| | Mn (mg/mL) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| PARAMETROS BIOLÓGICOS | Cu (mg/mL) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| | Zn (mg/mL) | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | DBO5 (mg/L) | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 0 | 5 |
| | Colif. Totales (U/100 mL) | 120 | 100000 | 50000 | 2000 | 800 | 10 | 30 | 180000 | 50000 |
| | Colif. Fecales (U/100 mL) | 80 | 20000 | 13000 | 500 | 400 | 80 | 80 | 20000 | 17000 |
| | Enterococos (U/100 mL) | 30 | 50000 | 50000 | 370 | 300 | 80 | 80 | 1600 | 2100 |
| | Clostridios (U/100 mL) | 5 | 20 | 100 | 30 | 70 | 80 | 80 | 90 | 80 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

El conflicto del uso del agua en el golf

■ *Martínez Crespillo, M.;*

Legua Murcia, P.;

Hernández García, F.

En esta comunicación analizaremos el paralelismo golf-agricultura, ya que un campo de golf, lo podemos definir, como una “finca agrícola de regadío”, en la que se cultiva una pradera y el ingreso económico que genera, no es por la venta de los productos obtenidos, sino por el desarrollo del propio juego en sí.

Además, explicaremos una serie de consideraciones sobre los consumos de agua en los campos de golf, frente a otros cultivos tradicionales, y a su impacto en la zona, que parece preocupar tanto en los últimos tiempos a los grupos ecologistas y a la opinión pública no especializada.

Terminando por demostrar con este estudio que “*el agua invertida en golf es bastante más rentable que en agricultura*” como comentario el Ministro de Comercio y Turismo (Diario Sur de 20 de septiembre de 1994).

Introducción

El golf ha experimentado un auge espectacular en los últimos años, hasta situarse en el deporte más practicado del mundo, con más de 80 millones de personas. Tan sólo cabe citar que España es el décimo primer

país del mundo con mayor número de campos de golf superando en Europa tan sólo a Italia y Portugal, con alrededor de 324, muy lejos aún de Estados Unidos, número uno, con cerca de 14.000 campos, casi el 50% de todos los existentes en el mundo, que son alrededor de 31.000.

Los visitantes a los campos de golf se cifran en 400 millones, debido a la atractiva unión golf-turismo, que mueve unos 1.000 millones de dólares sólo en Europa.

El turismo del golf en España supuso en 1990 unos ingresos cercanos a los 17.000 millones de pesetas, que distribuidos en función del número de visitantes atraídos por el golf dieron como resultado un elevado gasto medio por persona de 114.000 pts.

El número de visitantes en España según la Federación Española de Golf fue en 1986 de 150.000, pasando en el año 1991 a 880.000.

En Andalucía que es la comunidad que recibe el 40% del total del turismo de golf, en 1991 recibía 350.000 turistas generándose unos ingresos de más de 4.000 millones de pesetas. En 1993 supuso una recepción 500.000 turistas generándose unos 14.000 millones de pesetas. En el 1994 se generaron 26.000 millo-

nes, y en 1995 el beneficio ya era cercano a los 40.000 millones, generado por 63 campos de golf federados, unas 2.600 ha.

En la provincia de Alicante con unos valores proporcionales a los andaluces, se sabe que el gasto medio por turista en los 6 días (5 noches) que suele estar en nuestra costa para practicar el golf esta en unas 154.000 pesetas esto supone que un golfista gasta de media unas 30.000 pesetas diarias.

Un campo de golf en la provincia de Alicante tiene en los meses de máxima afluencia unos 200 jugadores al día, pudiéndose establecer una media anual de 100 jugadores día.

Por tanto la práctica del golf genera unos fuertes ingresos económicos. Ello implica la creación y mantenimiento estable de numerosos puestos directos e indirectos.

Tan sólo cabe decir que un campo de golf se puede definir como una finca agrícola de regadío cuya rentabilidad por hectárea es de 8 a 12 millones de pesetas, frente a las 400.000 pesetas/ha de un cultivo de alfalfa, el cual tiene las mismas necesidades de agua.

Esta importancia económica ha hecho que en la actualidad se sigan construyendo Campos de Golf, y se este acercando a la media europea de un Campo de Golf cada 22.000 habitantes, en la actualidad la media en la Comunidad Valenciana es de un Campo de Golf cada 200.000 habitantes. Esto hace suponer que sólo en nuestra Comunidad se construirán unos 60 nuevos campos.

El crecimiento de esta actividad supondrá el estudio de su sostenibilidad hídrica en nuestra zona, problema más grave y conflictivo en estos últimos años para su implantación. Este texto intenta analizar este problema, haciendo un comparativo de las necesidades de agua de un campo de golf de 18 hoyos, frente a las necesidades de agua de una finca de cítricos, situada en el Pilar de la Horadada.

Datos climáticos de la zona de estudio

Se toma como base, los datos obtenidos en la Esta-

ción Meteorológica –El Pilar de la Horadada–, en Alicante durante los años 1961 a 1991.

La zona goza de un clima benigno influenciada por su proximidad al Mar Mediterráneo, oscilando las temperaturas medias mensuales entre 11,7 °C y 26,3 °C.

El número de horas de insolación directa son 2.894,4 horas.

La pluviometría media mensual varía entre 3,5 y 51,6 mm. en el mes más lluvioso.

Los vientos dominantes son de dirección E y O., aunque dominan las calmas.

Los días de granizo, nevadas y escarcha, son inexistentes.

Como resumen final, podemos decir, que la finca se encuentra enclavada en una zona con un clima semi-árido, mesotérmico, con poco o nada de superávit en invierno, con un número de horas de sol alto y con lluvias muy irregulares durante todo el año, y no demasiado abundantes.

Necesidades de agua de un campo de golf de 18 hoyos

Las necesidades de agua del campo de folf, las calcularemos para un “Dessesrt Golf” tipo de campo que se está construyendo en los últimos años. Su característica especial es que sólo tiene de pradera la zona útil de juego, y el resto es vegetación de la zona, buscando una integración en la mayor medida de lo posible con el entorno. Huyendo así de los campos que existentes, los cuales eran una inmensa pradera, en la que se utilizaba para el juego un 60% de la superficie de césped, con plantas ornamentales en la mayoría de los casos nada integradas con el entorno.

La superficie ocupada por un campo de golf de estas características es de 60 ha, de las cuales son de césped el 50%, el resto de la superficie es ocupado por arbolado el cual tendrá cubiertas sus necesidades de agua con la humedad generada por el riego de la pradera.

Estas 30 ha de pradera están repartidas de la siguiente forma:

| Zona de Juego | Superficie (m²) | Kc |
|---------------|-----------------|------|
| Green | 14.400 | 1,0 |
| Tee | 9.200 | 0,85 |
| Calle y Rough | 276.400 | 0,8 |

Para el cálculo de las necesidades de agua hemos utilizado el método de Penman modificado, ya que es probablemente el que proporcione resultados más satisfactorios para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos.

El siguiente cuadro refleja los valores obtenidos para el campo de golf.

| Mes | ETc | | | Necesidades netas(m³/ha-mes) | | |
|-----------------------------------|-------|-----|---------------|------------------------------|--------|---------------|
| | Green | Tee | Calle y Rough | Green | Tee | Calle y Rough |
| Septiembre | 117 | 99 | 93 | 1086 | 953 | 909 |
| Octubre | 91 | 77 | 72 | 1126 | 1023 | 989 |
| Noviembre | 53 | 45 | 42 | 689 | 629 | 609 |
| Diciembre | 42 | 36 | 34 | 518 | 470 | 454 |
| Enero | 40 | 34 | 32 | 455 | 409 | 394 |
| Febrero | 54 | 46 | 43 | 564 | 502 | 482 |
| Marzo | 76 | 64 | 60 | 738 | 653 | 624 |
| Abril | 119 | 101 | 95 | 1096 | 961 | 916 |
| Mayo | 140 | 119 | 112 | 1263 | 1104 | 1051 |
| Junio | 189 | 160 | 151 | 1536 | 1321 | 1250 |
| Julio | 218 | 185 | 174 | 1679 | 1432 | 1349 |
| Agosto | 203 | 172 | 162 | 1565 | 1335 | 1258 |
| Necesidades netas anuales (m³/ha) | | | | 12.315 | 10.793 | 10.286 |

Por tanto las necesidades netas del campo de golf serán:

| Zona de juego | Superficie (ha) | Necesidades netas (m³/ha-año) | Total (m³/año) |
|---------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|
| Green | 1,44 | 12.315 | 17.733,6 |
| Tee | 0,92 | 10.793 | 9.929,56 |
| Calle y Rough | 27,64 | 10.286 | 284.407,9 |
| TOTAL CAMPO DE GOLF | | | 312.071 |

Necesidades de agua de la finca de cítricos

La finca de comparación sería un finca de naranjas de la variedad Nave Lane Late de 60 ha en la cual la superficie cultivada es del 85%, el resto de la superficie se reparte entre embalses de regulación, casetas, caminos, etc.

La plantación esta realizada a un marco de 4 x 5 m, lo que supone unos 500 árboles/ha, se ha calculado para un diámetro de copa de 3 m, y con riego por goteo.

Para el cálculo de las necesidades de agua hemos utilizado el método de Penman modificado. Siendo los resultados:

| Mes | ETP | Necesidades netas mensuales (m³/ha)) |
|---------------------------|-----|--------------------------------------|
| Septiembre | 108 | 500 |
| Octubre | 84 | 387 |
| Noviembre | 49 | 205 |
| Diciembre | 39 | 168 |
| Enero | 37 | 164 |
| Febrero | 50 | 215 |
| Marzo | 70 | 390 |
| Abril | 110 | 620 |
| Mayo | 130 | 781 |
| Junio | 175 | 1.050 |
| Julio | 202 | 1.001 |
| agosto | 188 | 899 |
| Necesidades Netas Anuales | | 6.380 |

Esto supone un consumo total de la finca de naranjas:

| Superficie (ha) | Necesidades netas (m³/ha año) | Total (m³/año) |
|----------------------|-------------------------------|----------------|
| 51 | 6.380 | 325.380 |
| TOTAL FINCA CÍTRICOS | | 325.380 |

Conclusiones

Como hemos visto en este texto el consumo de agua de un campo de golf de 18 hoyos y una finca de cítricos es muy similar, aunque bien es cierto que la demanda es mucho mayor en los campos de golf, también es cierto que en ellos es muchos menor la superficie regada.


Por tanto la creación de un campo de golf no supone más impacto en cuanto a las necesidades hídricas que un finca agrícola.

Además, según la Legislación medioambiental Valenciana establece que los campos de golf se regarán con aguas residuales, con tratamiento terciario. No afectando así a los recursos naturales de la cuenca, ya que se trataría de la utilización de recursos no convencionales.

Otras ventajas medioambientales de los campos de golf respecto a otros cultivos, es que generan impactos menores sobre el medio, como son la menor utilización de tratamientos fitosanitarios, el abonado de liberación lenta, con menor riesgo de contaminación de acuíferos, una mejora importante en la nidificación de aves de la zona y en los últimos años un menor impacto paisajístico. Sin mencionar las mejoras socio-económicas que generan en la zona donde se ubican.

Por todo ésto, a veces no se entiende la propaganda negativa y oposición que genera la construcción de un nuevo campo de golf en cuanto al uso del agua, y su impacto en el medio. Y por el contrario pasan casi inadvertidas la creación de nuevas fincas agrícolas.

Tratamiento y reciclaje de aguas residuales en Torrevieja

 **Rocío Díez Ros**

Departamento de Geografía Humana. Universidad de Alicante

El municipio de Torrevieja se encuentra situado en el litoral de la Vega Baja del Segura, la comarca más meridional de la provincia de Alicante. Su economía ha estado tradicionalmente basada en una agricultura de secano de bajo rendimiento, en la pesca y, fundamentalmente, en las actividades extractivas de sal en las lagunas de La Mata y Torrevieja ya desde los primeros asentamientos a finales del siglo XVIII (2).

Sin embargo, desde mediados de los años sesenta del siglo actual, Torrevieja se ha ido especializando en un modelo turístico de sol y playa masivo muy ligado a la oferta inmobiliaria de segundas residencias, con la construcción (1) y sus servicios auxiliares como verdaderos motores económicos. Pero desde luego, el crecimiento demográfico y la expansión urbanística experimentados por Torrevieja no hubieran sido posibles sin los recursos hídricos que nutren los sistemas de abastecimiento públicos, ya que la disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficientes es, aunque resulte obvio, vital para el desarrollo de los núcleos de

población y de las actividades económicas que en ellos se realizan.

Las condiciones climáticas de Torrevieja (8), con un elevadísimo número de horas de sol al año (2.950 horas/año) que tan atractivo resulta para los turistas, residentes y veraneantes, tiene su otra lectura en una marcada escasez de precipitaciones (una media de 47 días de lluvia al año y 217 mm de precipitación media anual) y, por tanto, carencia de recursos de agua autóctonos y dependencia de las aportaciones de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla ¹ para poder garantizar el suministro municipal (9). Se explica así que, pese a que la población empadronada únicamente supere los cincuenta mil habitantes desde el pasado año, y la de hecho ronde los ochenta mil, en fines de semana, “puentes” y, sobre todo, en los periodos de vacaciones, Torrevieja conozca incrementos de población de tal magnitud que incluso se llegue a superar hasta en ocho o nueve veces la habitual.

Si a las excepcionales variaciones del número de habitantes que suponen las actividades turísticas le

1. Creada en virtud del R.D.-Ley de 4 de octubre de 1927 para abastecer de agua potable a la Base Naval de Cartagena y a los Ayuntamientos mancomunados (pertenecientes a las provincias de Alicante, Murcia y Albacete).

añadimos el cambio en los hábitos urbanos de gasto, incrementado unas cuarenta veces en litros por habitante y día respecto a las cifras de principios de siglo (5), el resultado no puede ser otro que el de un continuo aumento de las necesidades hídricas. De todos los usos a que se destina el agua, los urbanos (suministro de agua potable, industriales, limpieza de calles, riego de jardines...) ocupan un lugar prioritario, por lo que en épocas de escasez, serán otros, normalmente los riegos agrícolas, los que verán restringida su disponibilidad (4) ya que la posibilidad material de aumentar la oferta de los llamados "recursos convencionales" (que proceden de fuentes de origen natural) resulta muy limitada.

En la búsqueda de soluciones a dicho problema, la reutilización de aguas residuales depuradas en riegos agrícolas, baldeo de calles, riego de parques y jardines y otros usos (campos de golf, medianas de carreteras, relleno de acuíferos sobreexplotados, procesos industriales de refrigeración o de calentamiento, lavados industriales, distintos usos recreativos...) es la que más posibilidades ofrece a corto plazo; pues parece obvio pensar que, siendo el agua un recurso escaso y vital para el desarrollo social, es un lujo totalmente innecesario, un despilfarro, verter a ríos y mares grandes volúmenes de agua, aunque ya haya sido utilizada en los distintos usos urbanos. Además, según la Directiva 91/271 de depuración de aguas residuales en territorio comunitario, y tal y como veremos más adelante, estos caudales han de ser obligatoriamente tratados antes de su vertido.

Las zonas del litoral en la Comunidad Valenciana constituyen, en general, el ámbito más adecuado para la reutilización de aguas depuradas antes de su disposición final al mar, al coincidir en ellas una fuerte demanda por parte de la agricultura y las mayores densidades de poblamiento. Es ese mismo crecimiento demográfico, traducido en un mayor consumo, el que permite disponer de importantes volúmenes de aguas residuales que, tras ser reciclados gracias a la tecnolo-

gía disponible, además de no contaminar el medio, pueden y deben ser integrados de nuevo en el ciclo del agua.

En Torrevieja el volumen de aguas residuales aumenta en verano, debido al incremento estacional de la población antes mencionado, y coincide con las mayores necesidades de agua por parte de los cultivos².

Debido a la limitada pluviosidad local, el riego es una práctica imprescindible para el desarrollo agrícola de la zona, por lo que los regantes han optado por recurrir a las aguas residuales depuradas, si bien es verdad que por la imposibilidad de disponer de otros recursos. De todos modos, si esto es así, y hacemos de la reutilización de estos caudales el paso siguiente a la depuración, tendremos que considerar el aprovechamiento a que vayan a estar sometidos a la hora de determinar el grado de depuración necesario, tal y como veremos más adelante. Primero parece conveniente conocer, aunque sea de un modo superficial, algunos aspectos legales y técnicos de la depuración de aguas.

La depuración de aguas: aspectos legales y técnicos

Debido a la carga contaminante de los vertidos de aguas utilizadas y sus efectos sobre la sanidad pública, hemos apuntado que las aguas residuales han de ser saneadas antes de ser devueltas a los ríos o al mar.

En la legislación comunitaria, la Directiva 91/271/CEE, del Consejo, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, transpuesta al ordenamiento español a través del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas, marca un calendario de plazos a cumplir por parte de las aglomeraciones urbanas (definidas como las zonas que presentan una concentración suficiente para la recogida y conducción de las aguas residuales) para disponer de infraestructuras donde lle-

2. Pese a que en Torrevieja el porcentaje de activos agrícolas es reducido, el municipio forma parte de una de las comarcas valencianas con mayor número de hectáreas dedicadas al regadío, tanto en cifras absolutas como relativas (3).

var a cabo el tratamiento adecuado de sus aguas residuales. Los plazos y niveles de tratamiento vienen marcados en función de la sensibilidad del medio receptor del vertido, pero principalmente en función del número de *habitantes-equivalentes*³ (6).

En la Comunidad Valenciana, siguiendo la citada Directiva 91/271/CEE, el saneamiento de las aguas residuales viene regulado por la Ley 2/1992 de 26 de marzo, que tiene por objeto garantizar una actuación coordinada y eficaz entre las distintas Administraciones Públicas en materia de evacuación, tratamiento y, en su caso, reutilización de las aguas residuales a través de un Plan Director de Saneamiento y Depuración⁴, ya que, al igual que las demandas de agua han aumentado espectacularmente en las últimas décadas, obviamente también lo han hecho los volúmenes de agua residual urbana. La depuración es un tema que no es posible circunscribir al campo municipal. Por ello, y pese a que la intervención de las Entidades Locales en la elaboración del citado Plan está contemplada en la Ley, en última instancia corresponde a la Administración Valenciana la planificación de las obras e instalaciones de saneamiento y depuración en territorio autonómico.

Para la aplicación de dicho Plan Director y también en virtud de la citada Ley 2/92 se crea la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, dependiente de la Generalitat Valenciana; pero quizá, por su relevancia económica y porque ha permitido alcanzar niveles de eficacia en la depuración que se acercan o cumplen ya los requisitos que exige la directiva comunitaria, de esta Ley conviene destacar el establecimiento de un *canon de saneamiento* (Art. 20.2) cuyo cobro se incluye en la factura al usuario (se estima por término medio en unas 28,71 ptas/m³), y destinado a la financiación de nuevas instalaciones y garantía de funcionamiento adecuado de las existentes (6).

El proceso de depuración de las aguas residuales es competencia municipal según establece la Ley 7/1985, de 2 de abril, reguladora de Bases de Régimen Local. El paso del agua residual bruta a agua residual depurada lleva consigo tres fases: tratamiento previo (que únicamente consiste en eliminar los elementos de mayor tamaño para que no afecten al funcionamiento del sistema depurador), tratamiento del agua y tratamiento de los fangos. Si nos referimos exclusivamente al de las aguas, existen, también distintos grados de tratamiento. Atendiendo a las definiciones que aparecen en el Real Decreto-Ley 11/95, entendemos por:

Tratamiento Primario: el que se lleva a cabo mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO 5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.

Tratamiento Secundario: el que se lleva a cabo mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente.

Tratamientos Terciarios: afinan el efluente procedente de las plantas convencionales y eliminan partículas en suspensión, DBO5, nutrientes, eutrofización, turbidez y patógenos no eliminados en el tratamiento anterior.

Tratamiento Adecuado: el que se lleva a cabo mediante cualquier proceso o sistema de eliminación en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.

3. Se entiende como un habitante-equivalente la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO5), de 60 gramos de oxígeno por día.

4. Con naturaleza de Plan de Acción Territorial de carácter sectorial de los previstos en la Ley de Ordenación del Territorio de la Comunidad Valenciana, y aprobado definitivamente por el Decreto 7/1994, de 11 de enero, del Gobierno Valenciano.

Un ejemplo de reutilización de aguas depuradas.

La E.D.A.R. de Torrevieja

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) de Torrevieja, emplazada entre las Salinas y el Cementerio Municipal, comienza a funcionar en 1982. Desde hace aproximadamente dos años está gestionada por la empresa mixta AGUAMED.

En 1993 se lleva a cabo una ampliación de las instalaciones ⁵ (con un presupuesto total de 679.949.001 ptas., financiado por la Generalitat Valenciana y el FEDER ⁶), ya que como podemos observar en la tabla I, los caudales tratados habían pasado en diez años de unos 776.000 m³ en 1984 a más de 4.000.000 m³ en 1993, a consecuencia de ese crecimiento demográfico y económico experimentado por el municipio al que antes nos hemos referido. En la actualidad la capacidad de la planta es de 30.000 m³/día en verano y unos 16.000 m³/día el resto del año. El agua es bombeada para su tratamiento a través de 27 estaciones de bombeo con una potencia total instalada de 1.940 CV, y pasa por sistemas de Pretratamiento y Decantación Primaria. A continuación se lleva a cabo el tratamiento secundario, consistente en un sistema convencional de fangos activados (21.000 m³/día), con una línea físico-química (9.000 m³/día) con digestión aerobia que solamente se utiliza en julio y agosto. La depuración se realiza sin ningún tipo de molestia de olores ni ruidos.

Tras la ampliación de la capacidad de la planta, para ese superávit de agua para las bombas (150 l/s) resultante, se pensó en dos soluciones (4):

- Convertir el aliviadero de emergencia en un emisario submarino de 2,5 km de longitud (según la normativa vigente), opción que se desestimó porque se consideró absurdo invertir cientos de millones en depurar agua para verterla al mar teniendo una solución alternativa de similar cuantía económica en la reu-

tilización. Además, ese agua es muy necesaria para los agricultores de la zona.

- Realizar una impulsión para elevar el agua hacia la sociedad de regantes Torre-Miguel, y satisfacer así una demanda que cada vez encuentra más dificultades para ser cubierta por reducción bien de la calidad bien de la cantidad de los recursos hídricos. Esta fue la que finalmente se adoptó.

Hace aproximadamente dos años se incorpora a la planta un sistema de tratamiento terciario llamado de infiltración-percolación, que permite tratar unos 500 m³/día ⁷ por filtración biológica aerobia en un medio granular fino. La implantación de este sistema era necesaria si se pretendía regar los parques y jardines del municipio con agua procedente de la depuradora, porque, debido a la frecuentación pública de estos espacios, los niveles de patógenos, concretamente de colonias de coliformes fecales, del agua a utilizar han de cumplir unos niveles sanitarios. El agua tratada por este sistema presenta una gran calidad en este sentido (<1.000 UFC/100 ml), y además es clorada con hipoclorito en un tanque de 473 m³ de volumen, que asegura un tiempo de contacto de quince minutos, con lo que cualquier infección por contacto está prácticamente descartada.

Así, la reutilización es la justificación para implantar tratamientos biológicos completos para la depuración de aguas residuales, no sólo para cumplir los requisitos de calidad asociados a la reutilización, sino también para recuperar en gran parte el coste de dicho tratamiento.

Otro aspecto muy importante a considerar es el destino de los residuos procedentes del proceso de depuración del agua. La E.D.A.R. de Torrevieja representa un ejemplo modélico puesto que, en la misma planta, cuenta con una tolva de almacenamiento de fangos. Así los lodos, tras el tratamiento de deshidratación necesario para alcanzar un grado de sequedad óptimo,

5. Dentro de lo previsto en el citado Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana.

6. Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

7. Información facilitada por AGUAMED, a quienes queremos agradecer su colaboración.

serán reutilizados en agricultura. El resto de residuos (grasas, otros sobrantes del Pretratamiento...) es gestionado como Residuos Urbanos o como Residuos Tóxicos y Peligrosos según convenga a sus características.

Como antes se ha apuntado, un problema de los espacios urbanos turísticos son las fluctuaciones en el número de habitantes. Resulta fácil imaginar las dificultades que estas variaciones suponen para los servicios municipales, que han de estar dimensionados para poder hacer frente a oscilaciones de tal magnitud. Pese a que esta particularidad se da, lógicamente, en todos los servicios y actividades, y se solventa con mayor o menor acierto, el caso que ahora nos interesa es el de la depuración del agua en el que estos cambios poblacionales afectan tanto desde el punto de vista técnico como económico; técnicamente porque los tratamientos biológicos utilizados en las depuradoras convencionales (de fangos activados) para tratar las aguas residuales soportan muy mal las variaciones de carga ⁸, y sin embargo, en la tabla de caudales tratados (anexo I) podemos ver las enormes diferencias entre los meses de invierno y el mes de agosto (el de mayor afluencia de turistas y veraneantes), con cifras para agosto estos últimos años que casi cuadruplican las de enero o febrero. Por ello, en los meses de julio y agosto, parte de los volúmenes han de ser tratados con físico-químico y los rendimientos obtenidos tras la depuración bajan del porcentaje habitual (95% de media anual sin considerar los dos meses centrales del verano); el motivo es que en ocasiones se llegan a tratar hasta 34.000 m³/día, superando la capacidad de la propia planta, de ahí que ya se esté pensando en una futura ampliación. Económicamente se ha constatado que el costo unitario de la depuración en una estación biológica es de cinco a ocho veces superior cuando trabaja al 10% de su capacidad que cuando trabaja a pleno rendimiento (7).

Para asegurar la reutilización de aguas residuales

sería necesario garantizar que los volúmenes disponibles no serán fluctuantes y cubrirán las necesidades, pero además, que los costes derivados de su depuración no resultarán elevados, sobre todo en determinados usos como el riego agrícola donde es económicamente inviable hacer frente a precios elevados por el recurso hídrico debido al escaso margen de beneficios que, por regla general, obtienen los agricultores tras la comercialización de sus producciones. Por tanto, los efluentes de las E.D.A.R. deben suponer una alternativa de coste razonable frente a recursos hídricos de otras procedencias. En España, el coste medio de aguas depuradas (por un tratamiento de tipo secundario) oscila entre 10 y 50 ptas/m³ (6). En el caso de la E.D.A.R. de Torre vieja el agua depurada, tras la oportuna concesión administrativa del Organismo de Cuenca, es reutilizada por la Comunidad de Regantes Torre Miguel de San Miguel de Salinas a un coste que depende de las elevaciones (5). Los caudales punta tratados en los últimos años son de unos 27.000 m³/día cuando se da la máxima afluencia de turistas (en julio y agosto) y durante el resto del año de unos 9.700 m³/día.

Un último aspecto a tener en cuenta es la calidad de los efluentes, como hemos dicho, siempre en función del uso a que vayan a destinarse, en nuestro caso la mayor parte del agua tratada en la E.D.A.R. se destina al riego agrícola.

Para evaluar la calidad del agua para riego se tienen en cuenta los problemas que podrían resultar de su uso prolongado. Los más comunes son salinidad y toxicidad de iones específicos, que en las aguas de riego suelen ser cloruro, sodio y, el más peligroso, boro (4). De todas formas, su presencia suele deberse a la contaminación industrial por lo que en Torre vieja no es probable que aparezca en las aguas tratadas. En cuanto a los niveles de salinidad, la E.D.A.R. proporciona unas aguas con niveles medios, tal y como podemos apreciar en la tabla del anexo II.

8. Se cifra en un 20% la variación de carga que pueden admitir (7).

Otra característica del agua es la presencia de sólidos en suspensión, que puede afectar a la permeabilidad del suelo y a las conducciones de riego por goteo. Se evalúa como turbidez. Y también con relación a los conductos de riego por goteo, es muy importante tener en cuenta el pH, ya que si éste es superior a ocho, el riesgo de formación de precipitados (concentraciones de carbonatos) es elevado.

Por tanto, de los valores contenidos en la tabla del anexo II, que son medias obtenidas de los análisis realizados periódicamente a las aguas tratadas, se desprende que los efluentes de la E.D.A.R. de Torre vieja son utilizables para regadío sin riesgos elevados.

Conclusiones

El caso de reutilización de aguas recicladas en la Depuradora de Torre vieja es un ejemplo de cómo la escasa disponibilidad de recursos hídricos y su enorme repercusión en todas las actividades de un municipio, pueden ser parcialmente subsanadas si se incorporan al ciclo del agua los llamados *recursos no convenciona-*

les (que no proceden de fuentes naturales). Determinados usos, como el riego agrícola o algunos usos urbanos que no requieren la potabilización del agua, pueden ser perfectamente cubiertos con caudales depurados siempre que el tratamiento seguido logre los objetivos sanitarios y de calidad necesarios en cada caso. Así, se libera en parte la presión de que son objeto nuestros ríos y acuíferos, cuyos problemas de sobreexplotación son tristemente conocidos, y se evita el despilfarro de importantes volúmenes de agua que, siendo como son recurso estratégico, serían tratados para su vertido al mar. Pese a que este tipo de casos en que el agua depurada es utilizada de nuevo suelen ser consecuencia de periodos de sequías (6), sería deseable que todos los municipios, o al menos aquellos que no vierten sus efluentes a ríos y no necesitan garantizar un caudal mínimo aguas abajo (7), considerasen la posibilidad de la reutilización de caudales, en beneficio de las fuentes naturales y de futuras generaciones que no tienen por qué ver frenado su desarrollo debido a las consecuencias de los hábitos del presente.

Anexo 2
Características de las aguas residuales tratadas por la E.D.A.R. de Torre vieja

| Riesgo | Bueno | Medio | Bajo | E.D.A.R. Torre vieja |
|-------------------------|-------|-----------|--------|----------------------|
| SALINIDAD | | | | |
| (CE ds/m) | <1.20 | 1.20-3.50 | >3.50 | 2.2 |
| G/l de sales | <0.77 | 0.77-2.24 | >2.24 | 1.4 |
| TOXICIDAD | | | | |
| Sodio (g/l) | <0.25 | 0.25-0.6 | >0.6 | 0.21 |
| Cloruro (g/l) | <0.30 | 0.30-0.70 | >0.70 | 0.275 |
| Boro (mg/l) | <1.00 | 1.00-3.50 | >3.50 | 1.6 |
| Sólidos en susp. (ppm) | <50 | 50-100 | >100 | 30 |
| Sólidos disueltos (ppm) | <500 | 500-2.000 | >2.000 | 1.610 |
| pH | <7 | 7-8 | >8 | 7.8 |

Fuente: Tabla cedida por la empresa S.E.A.R.S.A. (4)

Bibliografía

1. BAÑOS CASTIÑEIRA, C.J., "Modelos turísticos locales. Análisis comparado de dos destinos de la Costa Blanca" en *Investigaciones Geográficas* nº 21, pp. 35-58. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, 1999.
2. CANALES MARTÍNEZ, G. y CRESPO RODRÍGUEZ, F., "El puerto de Torreveja: gestación y desarrollo de un largo proyecto para la comercialización de la sal" en *Investigaciones Geográficas* nº 17, pp. 69-88. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante, 1997.
3. CONSELLERIA D'OBRES PÚBLIQUES, URBANISME I TRANSPORTS, *Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana*. Generalitat Valenciana, Valencia, 1994.
4. MARTÍNEZ ANDREU, D., "Proyecto de ampliación de las instalaciones de agua tratada por la E.D.A.R. de Torreveja-Alicante". Proyecto fin de carrera, Obras Públicas; Escuela Politécnica Superior de Alicante. Alicante, 1994.
5. RICO AMORÓS, A.M., *Agua y desarrollo en la Comunidad Valenciana*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 1998.
6. RICO AMORÓS, A.M. (et al.), *Depuración, desalación y reutilización de agua en España: estudio regional*. Barcelona. Oikos-Tau, 1998.
7. SIERRA ANTIÑOLO, J. y PEÑALVER CÁMARA, L., *La reutilización de las aguas residuales: acondicionamiento y uso*. Madrid. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1989.
8. TORRES ALFOSEA, F.J., *Aplicación de un sistema de información geográfica al estudio de un modelo de desarrollo local: crecimiento urbano-turístico de Torreveja (1956-1993)*. Universidad de Alicante. Alicante, 1995.
9. VERA REBOLLO, J.F. y RICO AMORÓS, A.M., "Los sistemas de abastecimiento de agua potable en un espacio turístico y residencial: la Costa Blanca". En *Agua y espacios de ocio*. Universidad de Alicante, Caja de Ahorros del Mediterráneo, Alicante, 1995, pp. 105-149.

ANEXO I E.D.A.R. de TORREVIEJA - CAUDALES MENSUALES

| mes | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
|-------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| E | 35.280 | 43.680 | 56.950 | 93.140 | 112.860 | 162.640 | 226.300 | 199.795 | 225.500 | 228.800 | 238.300 | 194.258 | 269.484 | 239.569 | 250.850 | 251.126 |
| F | 32.552 | 42.840 | 54.300 | 86.530 | 103.860 | 146.560 | 210.800 | 226.604 | 257.500 | 265.000 | 254.500 | 177.521 | 249.412 | 201.007 | 213.743 | 230.019 |
| M | 36.930 | 49.200 | 73.650 | 92.020 | 141.580 | 205.760 | 182.420 | 212.099 | 250.000 | 279.900 | 282.900 | 218.996 | 245.609 | 307.882 | 255.670 | 320.209 |
| A | 43.030 | 52.710 | 71.060 | 104.960 | 149.600 | 186.960 | 231.000 | 204.600 | 291.100 | 307.300 | 344.100 | 287.704 | 290.521 | 294.754 | 316.979 | 339.133 |
| M | 44.908 | 55.360 | 72.460 | 131.350 | 166.570 | 192.320 | 235.600 | 209.662 | 281.200 | 293.600 | 330.500 | 248.061 | 259.395 | 308.156 | 317.840 | 318.698 |
| J | 54.020 | 67.550 | 87.450 | 139.420 | 172.160 | 227.920 | 297.950 | 238.500 | 304.600 | 315.000 | 287.300 | 280.376 | 289.361 | 325.763 | 350.103 | 363.288 |
| J | 131.150 | 160.815 | 200.680 | 280.160 | 259.280 | 451.100 | 348.100 | 423.299 | 440.900 | 557.100 | 550.300 | 564.937 | 525.768 | 562.657 | 567.220 | 638.925 |
| A | 176.370 | 194.230 | 263.600 | 276.150 | 303.560 | 488.000 | 535.000 | 547.001 | 662.800 | 687.600 | 669.582 | 718.427 | 725.227 | 784.979 | 793.869 | 862.474 |
| S | 83.080 | 105.424 | 176.080 | 191.400 | 239.360 | 326.400 | 365.000 | 310.599 | 434.300 | 432.400 | 337.572 | 373.430 | 384.737 | 373.376 | 413.695 | 453.980 |
| O | 46.515 | 63.180 | 116.700 | 140.000 | 172.720 | 247.400 | 276.000 | 235.699 | 289.700 | 363.300 | 282.111 | 291.593 | 278.495 | 278.650 | 308.048 | 367.010 |
| N | 48.893 | 59.490 | 93.640 | 113.750 | 157.600 | 192.000 | 227.540 | 232.899 | 250.000 | 276.700 | 180.943 | 251.887 | 255.819 | 253.513 | 280.278 | 320.463 |
| D | 43.260 | 55.590 | 81.740 | 122.283 | 153.360 | 217.700 | 181.877 | 239.701 | 236.800 | 243.500 | 190.583 | 255.991 | 226.845 | 239.726 | 282.019 | 293.340 |
| total | 775.988 | 950.069 | 1.348.310 | 1.771.163 | 2.132.510 | 3.044.760 | 3.317.587 | 3.280.458 | 3.924.400 | 4.250.200 | 3.948.691 | 3.863.181 | 4.000.673 | 4.170.032 | 4.350.314 | 4.758.665 |
| 1 | 2.120 | 2.603 | 3.694 | 4.853 | 5.827 | 8.342 | 9.089 | 8.988 | 10.722 | 11.644 | 10.818 | 10.584 | 10.931 | 11.425 | 11.919 | 13.037 |
| 2 | 1.285 | 1.625 | 2.189 | 3.387 | 4.496 | 5.962 | 7.241 | 7.018 | 8.702 | 9.164 | 9.669 | 7.510 | 8.763 | 9.009 | 9.034 | 9.728 |

1 media (m3/día)

2 caudal invierno(m3/día)

Fuente: Tabla cedida por AGUAMED

Balance económico, hídrico y de biodiversidad en los regadíos proyectados de Monegros II.

El territorio como restricción y potencial económico

■ **Estrella Bernal Cuenca**

Departamento de Análisis Económico. Universidad de Zaragoza.

El agua es vida. Un conocimiento tan básico y popular nos acerca a la complejidad del agua como bien económico. Es una complejidad que supera la propia capacidad del análisis económico tradicional para ser comprendida y gestionada, ya que muchas de sus utilidades no pueden ser valoradas por el mercado.

El agua es un bien escaso, pero su valor no viene determinado únicamente por esta escasez cuantitativa, sino también por la condición cualitativa que ha de tener para cumplir todas sus funciones económicas, sociales y ambientales. El mercado es incapaz de valorar los costes en términos de pérdida de vida en que se incurre cuando utilizamos recursos hídricos en actividades económicas que estamos detrayendo de ecosistemas donde cumplen su función vital; o cuando destruimos ecosistemas para construir infraestructuras que proporcionen los servicios del agua en cualquier actividad productiva. Tampoco es capaz de valorar el coste de oportunidad de estos ecosistemas al perderlos para usos futuros e insustituibles que la ciencia puede alumbrar en el futuro.

El principio de prudencia nos obliga pues a un análisis que supere los términos estrictamente economi-

cistas abriendo el sistema de análisis económico a la biosfera para considerar valores que no son definibles en términos monetarios, pero que acaban afectando también a la rentabilidad en un medio o largo plazo. En este sentido, es muy orientativo un análisis de la evolución de balances de los recursos naturales que intervienen en la actividad económica que nos ocupa, en este caso la agricultura. Consideraremos biodiversidad, agua y suelos como los recursos naturales a observar en esta actividad aunque es obvio que intervienen muchos más.

Es necesario considerar la evolución de estos balances en el contexto geográfico, ya que el territorio es una variable clave que puede suponer un activo o un pasivo económico de futuro dependiendo de su uso; es decir, el territorio es en sí mismo una fuente de valor añadido económico, ambiental y social cuya gestión hay que considerar como paso previo a cualquier actividad humana que se quiera desarrollar.

Estos principios de economía ecológica son utilizados implícitamente en la directiva europea marco en materia de aguas al imponer restricciones al uso del agua en el territorio en casos en que dichos usos suponen

gan vulnerar la protección que la propia legislación europea otorga en términos medioambientales, y también explícitamente al proponer una valoración del uso del agua en términos monetarios que incluya los costes ambientales.

Esta Directiva General Europea de Aguas señala en su artículo 5 que cada Estado Miembro ha de velar por efectuar en cada demarcación hidrográfica un análisis de las características de demarcación, un estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas y un análisis económico del uso del agua, de acuerdo a las especificaciones técnicas fijadas en los anexos II y III bis.

El artículo 12.1.a, dice que los Estados Miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes ambientales y de recursos que lleva aparejados la utilización del agua, con vistas a una tarificación que fomente la consecución de los objetivos de la presente directiva.

El anexo III bis expresa que el análisis económico contendrá la suficiente información para:

a) efectuar los cálculos pertinentes necesarios para tener en cuenta, de conformidad al artículo 12, el principio de recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, tomando en consideración los pronósticos a largo plazo de la oferta y la demanda de agua en la demarcación hidrográfica y, en caso necesario:

- las previsiones del volumen, los precios y los costes asociados a los servicios relacionados con el agua definidos en el artículo 2.32; dicho artículo hace referencia a la captación, distribución, consumo de aguas superficiales o subterráneas, emisión de contaminantes en aguas superficiales y las instalaciones de recogida y tratamiento de dichos vertidos;

- las previsiones de la inversión correspondiente, incluidos los pronósticos relativos a dichas inversiones;

b) calcular previsiones a largo plazo de los ahorros que pueden realizarse mediante el aumento de la efica-

cia en la utilización del agua, desglosadas en sectores distintos de la utilización del agua, al menos en hogares, industria y agricultura.

c) evaluar la combinación más rentable de medidas en materia de usos del agua que deben incluirse en el programa de medidas de conformidad con el artículo 13, basándose en las previsiones de los costes potenciales de dichas medidas.

En el anexo VI existe una lista que recoge los actos legislativos comunitarios que, junto con la legislación nacional o local, conforman las medidas fundamentales que han de incluirse en los programas de medidas previstos en la letra a) del apartado 3 del artículo 13.

De las 9 directivas que señala explícitamente, nos interesa aquí destacar dos:

- La directiva relativa a las aves silvestres (79/409/CEE).

- La directiva relativa a los hábitats naturales (92/43/CEE).

En este contexto pretendemos enjuiciar la viabilidad de la creación de nuevos regadíos en Monegros II. Debe hacerse un análisis de los costes asociados al uso del agua en los regadíos intentando incluir los conceptos arriba expresados. Pero además esos costes deben comprender los costes potenciales de las medidas arriba señaladas.

Nuestro planteamiento introduce un análisis coste beneficio de esta inversión pública en regadíos, condicionado al resultado de un análisis territorial de las restricciones a la superficie regable proyectada. Estas restricciones vienen dadas tanto por aptitud de suelos para el riego, problemas de contaminación salina y pérdida de productividad, como por las áreas restringidas por ser objeto de protección de las citadas directivas.

Analizaremos estas restricciones a través de capas de información geográfica digital. El sistema utilizado para cruzar la información digital será Arc/View, y la escala a la que trabajamos es 1:50.000.

El proyecto oficial de puesta en riego de Monegros II según datos de la Confederación Hidrográfica del

Ebro (CHE) (1997), se sitúa al sur de la Intercuenca Gallego Cinca (Mapa I) con una extensión de 54.250 Has.

Contamos con las siguientes cubiertas digitales:

– Regadíos proyectados y actuales en la cuenca del Ebro. Cubierta digitalizada en 1997, pero en vigor según el responsable de la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHE. Esta cubierta nos permitirá mediante el uso del lenguaje de programación Avenue¹, calcular el área resultante de las distintas operaciones geográficas, como restar las áreas protegidas, o localizar la superficie de regadío proyectada exacta que intersecta con las zonas de hábitats contempladas en la directiva.

– Cubierta de Hábitats en base a la directiva europea, proporcionada por la Dirección General del Medio Natural del Gobierno de Aragón en 1998.

– Cubierta de ZEPAS (zonas de especial protección para las aves) facilitada por el Servicio de Protección de la Naturaleza del Gobierno de Aragón.

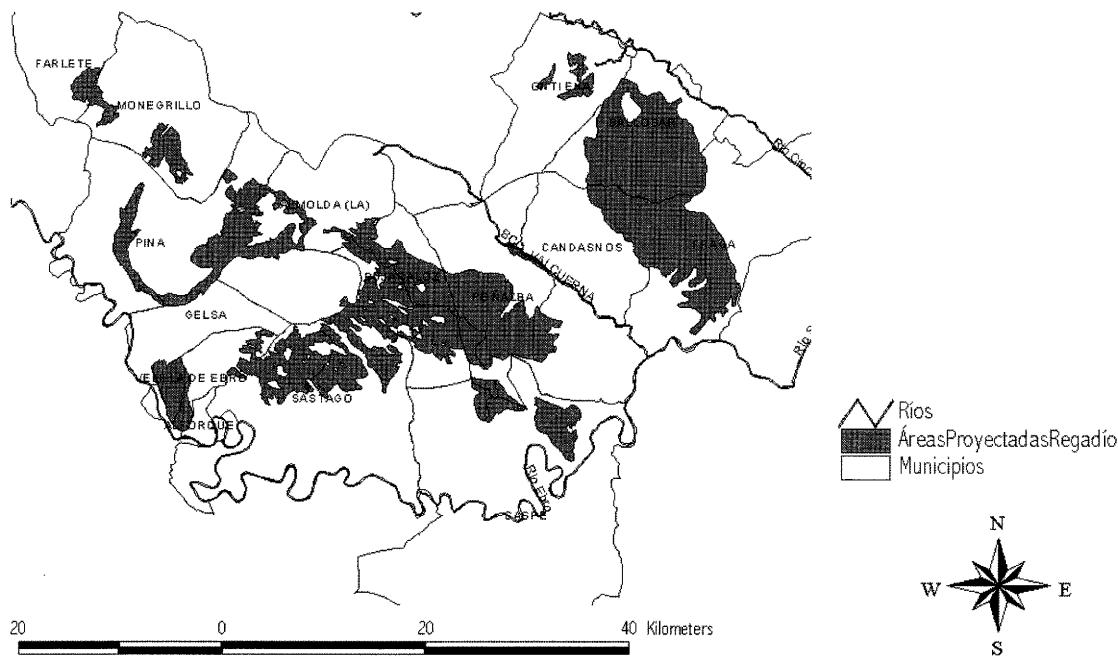
– Cubierta de IBAS (Interest Bird Areas) facilitada por SEO Aragón.

– En estos momentos la información cartográfica de suelos con que se cuenta es meramente orientativa por ser una escala excesivamente pequeña (1:400.000), sin embargo los datos sí aportan una visión del problema y la magnitud que puede alcanzar. El alto contenido en yesos y otras sales solubles supone efectos perniciosos que el riego podría causar sobre las propiedades agronómicas del suelo y aventuran un aumento de la salinidad del río Ebro debido al arrastre de los retornos de riego. Este aspecto está en vías de elaboración tanto en cuanto a la obtención de datos a mayor escala, como al tratamiento de los ficheros alfanuméricos que acompañan a las cubiertas geográficas, ya que actualmente la cartografía digital de sales y yesos con que se cuenta no incluye tales ficheros alfanuméricos con la analítica pertinente.

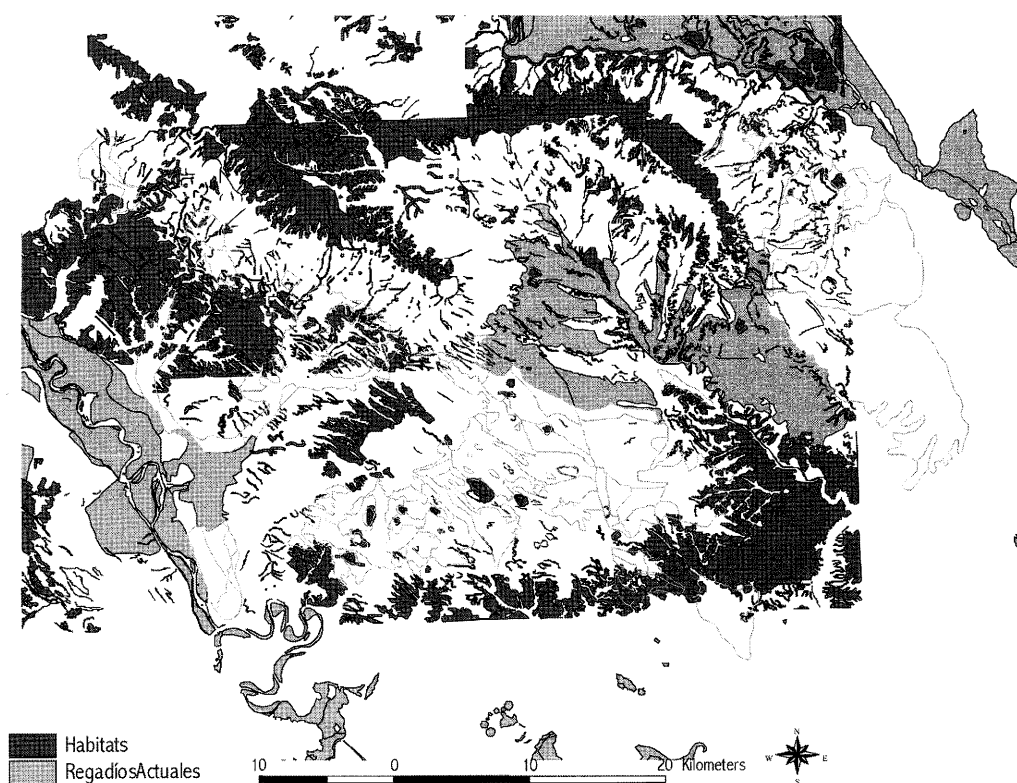
En el presente trabajo se han considerado las áreas de riego proyectadas en Monegros II, pero está en

MAPA 1: Monegros II

Área de estudio



1. Ver anexo.



Mapa 2: Interacción de regadíos actuales y hábitats

nuestros planes tratar las zonas ya regadas al objeto de ver la interacción con hábitats. Esta interacción de hecho existe (Mapa 2); se trataría de estudiar la rentabilidad incluyendo la información de suelos, de reconvertir estas zonas de regadío a zonas de conservación de estos hábitats. En zonas amenazadas de pérdida de suelos y contaminación aguas abajo por salinidad, esta opción es más que razonable.

Es de resaltar el hecho de que la agricultura de secano es fundamental en el área para la conservación de varios hábitats de aves, por tanto la protección del hábitat no está necesariamente ligada al total "reasilvestramiento", sino que permite un uso compartido del territorio. Considerando que los programas agroambientales europeos serán de aplicación a todos los espacios de la Red Natura², este uso compartido del territorio nos da una opción de obtener rentas complementarias de producción de secano y de

estas ayudas. Es de notar que esta posibilidad disminuiría el beneficio incremental de secano a regadío que consideraremos en nuestro análisis coste beneficio; no lo hemos incluido debido a que en estos momentos no se han aprobado los presupuestos del Gobierno de Aragón; conocer el nivel de compromiso de la administración pública regional y de la nacional es previo a conocer la dotación presupuestaria que asignará Bruselas a dichos programas. El único referente en España de estos programas es el Programa de Compensación de Rentas en los regadíos de la Mancha Occidental y Campo de Montiel, sin embargo, la problemática absolutamente diferente no permite usarlo en nuestro escenario.

En el Mapa 3³ observamos las zonas de hábitats, ZEPAS e IBAS en el área de estudio de regadíos proyectados.

Del análisis alfanumérico y geográfico de estas

2. La Red Natura 2000 es una red ecológica europea creada por la directiva 92/43/CEE que pretende contribuir al mantenimiento de la Biodiversidad. La inclusión de un espacio en la Red Natura 2000 obliga a que cualquier plan o proyecto, no relacionado de forma directa con su gestión, que vaya a desarrollarse dentro de sus límites o pueda afectarle de algún modo, se someta a una adecuada evaluación de sus repercusiones ambientales, teniendo en cuenta los objetivos de conservación del espacio.

3. Hay que explicar que la cubierta de Zepas se superpone a la de regadíos, así como la de IBAS y hábitats.

cubiertas con Geoprocessing Wizzard y Avenue de Arc/View obtenemos que:

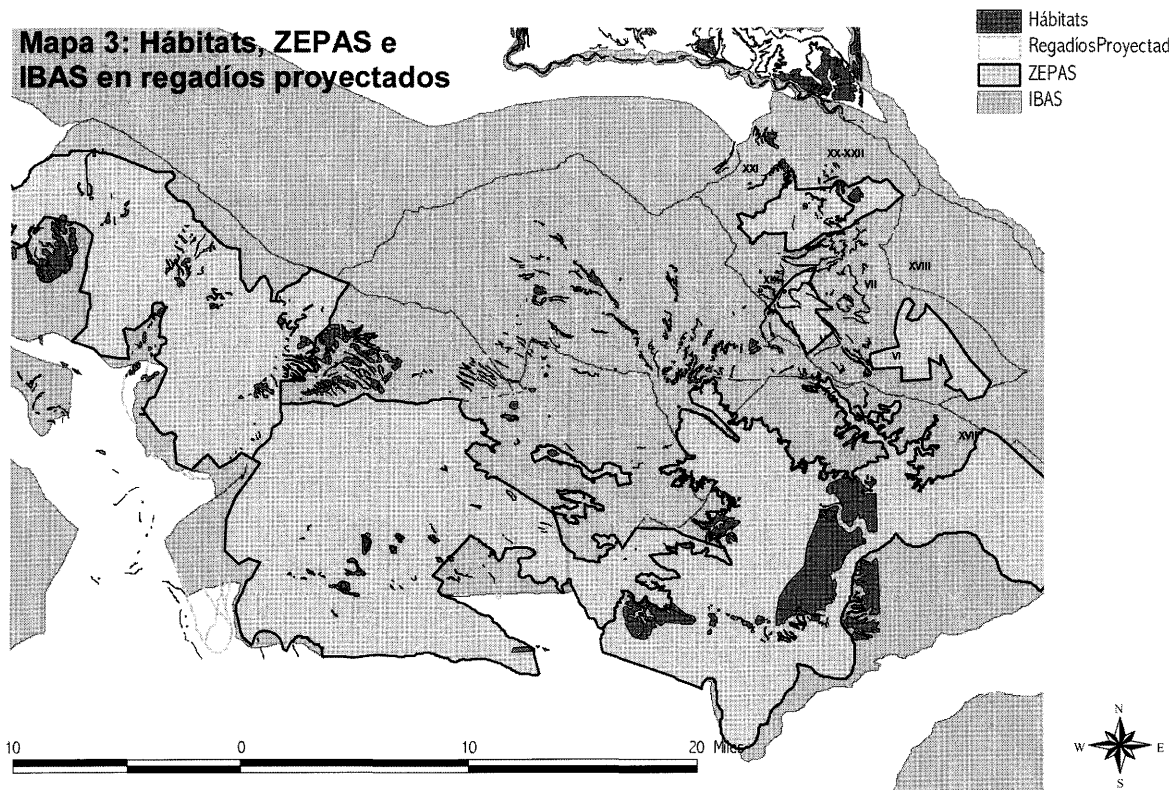
- De las 54.250 Has del proyecto oficial, 23.224 corresponde a zona de ZEPAS, por lo que sólo restan 31.026 para considerar su puesta en riego.
- Existen hábitats no contemplados en ZEPAS ni en ninguna otra figura perteneciente a la Red Natura, un total de 674 Ha, aunque la zona de protección del hábitat sería más amplia.
- La zona de IBAS cubre prácticamente la totalidad del área proyectada, quedando fuera de ella únicamente 1.982 Has que quedarían para regar.

Esta información no es meramente cuantitativa, ya que se tiene la localización exacta de estas Has resultado del análisis geográfico. Ello permitirá en un futuro precisar mucho más los rendimientos de la inversión en regadíos al incluir información de suelos que influye en la producción, así como el impacto de los retornos salinos que producirían dichas Has.

A estos datos hay que añadir la actual coyuntura en el tema de la delimitación de ZEPAS:

El 26 de enero de 2000, la Comisión Europea interpuso una queja ante España por no contar con las suficientes ZEPAS de acuerdo a la directiva 79/409/CEE. El documento de referencia que toma Bruselas para precisar las áreas que deberían declararse ZEPAS al objeto de remediar esta escasez, es el estudio realizado por SEO España donde se delimitan las IBAS⁴. La administración aragonesa deberá presentar pruebas que invaliden dicho estudio para poder realizar los regadíos.

La superficie que hay considerada actualmente en ZEPAS (Mapa 3), es una propuesta que todavía ha de ser aceptada por la Comisión Europea. En los regadíos proyectados de Monegros II, esta superficie es de 23.224 Has tras el decreto 147/2000, de 26 de julio del Gobierno de Aragón. La financiación por fondos europeos de cualquier proyecto en el área, requiere la cita-



Mapa 3. Hábitats, ZEPAS e IBAS en regadíos proyectados

4. “Áreas importantes para las aves en España”. Ed. Carlota Viada SEO/Birdlife. 1999.

da aceptación. A día de hoy esta financiación se perfila imprescindible a la hora de llevar a cabo las obras necesarias para la conversión en regadío.

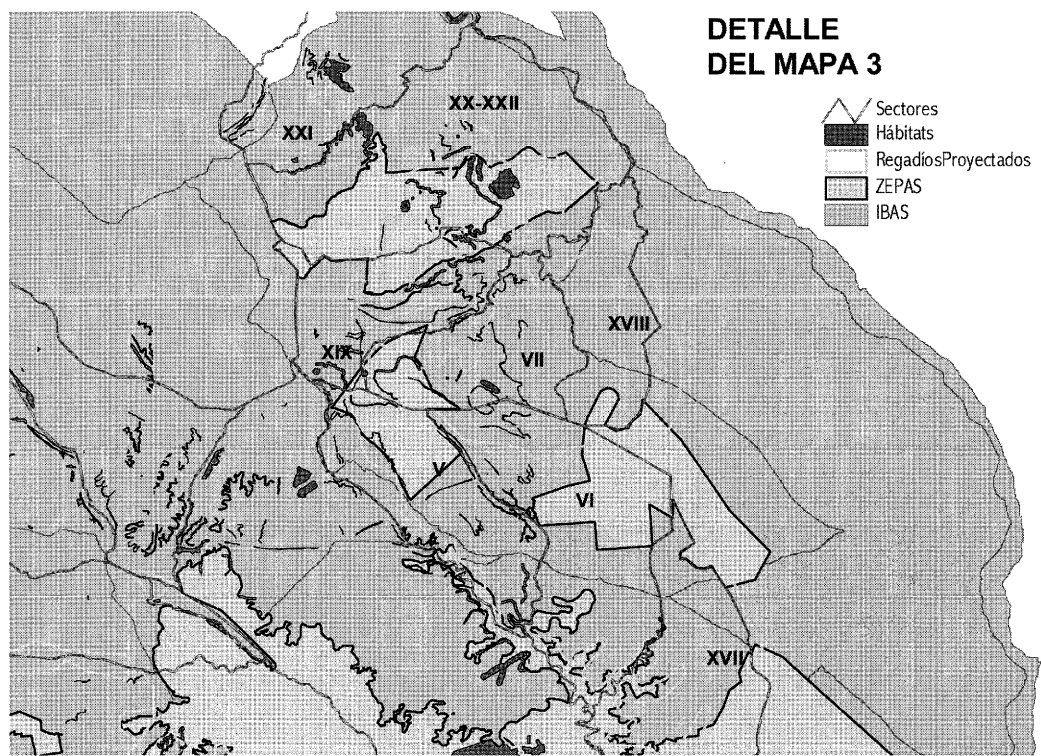
Según declaraciones de SEO Aragón la ZEPA que actualmente existe en los sectores V, VI, VII y XVII a XXII de Monegros II (los municipios de Ontiñena, Ballobar, Fraga y Candanos), no asegura la supervivencia del hábitat debido a la discontinuidad del área protegida; una medida de protección coherente requeriría la ampliación de ZEPA a todo el área proyectada de regadíos en dichos sectores, lo que supone 19.431 Has menos de regadío en la zona. Además, como se observa en el detalle del Mapa 3 (Ontiñena, Ballobar, Fraga, Candanos), esta zona contiene hábitats que no están contemplados en ninguna figura de protección legal en Aragón. Dado que la referencia para configurar la Red Natura 2000 es la directiva hábitats, esta zona ha de seguir los cauces para convertirse en parte de dicha red, tanto por necesidad en los próximos años

de la transposición de la directiva de aves silvestres como por la directiva de Hábitats a la legislación española y aragonesa.

En esta coyuntura surgen tres escenarios a analizar respecto a la puesta en riego de uno u otro número de Has.

1. Si se acepta la actual propuesta de 23.224 Has de ZEPAS, quedarían 31.026 Has para regar (detrayendo las 23.324 de las 54.250 previstas inicialmente).
2. Si en un medio plazo se protege la zona de los sectores V, VI, VII y XVII a XXII, quedarían 11.595 Has para el riego.
3. Si finalmente se protege todo el área propuesta de IBAS, quedarían únicamente 1.982 Has para el riego.

Vamos a ir tratando el análisis coste beneficio de la puesta en riego de las correspondientes Ha en cada uno de estos tres escenarios.



Mapa 3. Detalle

5. “Análisis Coste-Beneficio y Valoración Socioambiental del Proyecto de Embalse de Biscarrués (Huesca)”. J. Fernández Comuñas. Zaragoza, junio de 1999.

ESCENARIO 1

Para analizar este escenario, nos remitiremos a la tesis de J. Fernández⁵, en la que se argumenta que en ningún caso el número de hectáreas a poner en riego en Monegros II puede superar las 26.000; por tanto las 31.026 Has de nuestro escenario, quedarían reducidas a estas 26.000. El autor realiza en su tesis una serie de 8 escenarios en donde la inversión fluctúa entre pérdidas de 41.602 y 79.788 Mptas para el Proyecto del Embalse de Biscarrués, que contempla los objetivos de mejora de garantía en el Bajo Gállego, nuevos regadíos en Monegros II, nuevos regadíos en La Hoya de Huesca, mantenimiento del caudal ecológico, laminación de avenidas y producción hidroeléctrica.

Nosotros a modo de referente, hemos tomado el escenario 5 del análisis coste beneficio de esta tesis que corresponde al Proyecto del Embalse de Biscarrués, adaptando los cálculos al análisis coste beneficio de los nuevos regadíos de Monegros II únicamente. Los costes fijos del embalse los hemos proporcionado al caudal de 88.5 Hm³ que en este caso demandarían los cultivos.

Realizados los cálculos las pérdidas son de 59.819,5 Mpts.

ESCENARIO 2

En el segundo escenario vamos a considerar la posibilidad de que queden 11.595 Has para convertir en regadío. La estructura de cultivos la obtenemos como una media de las estructuras de cultivo los escenarios II y III del capítulo de puesta en marcha de regadíos de Monegros II de la citada tesis⁶. Seguidamente calculamos las necesidades hídricas de dichos cultivos⁷. Observamos que esas necesidades son de 82 Hm³/año⁸. La necesidad por Ha es de 7,057 Hm³.

En este escenario vamos a plantear satisfacer esa demanda con el ahorro de caudales que se produciría en la modernización de Monegros I según J. Fernández⁹. Tomamos la referencia del escenario C en que se modernizan 32.000 Has, lo que supone un ahorro medio de 30 Hm³/año y 35.312 Mptas de beneficios en las hectáreas modernizadas de Monegros I.

De este modo, adoptando un enfoque paretiano¹⁰ en la Comunidad General de Regantes del Alto Aragón (que comprende Monegros I, Monegros II y La Hoya de Huesca), estos caudales deberían ser suministrados a Monegros II a coste cero, ya que en el sistema completo se consigue mejorar la utilidad de todos los agentes sin empeorar la de ninguno.

En los procesos de modernización llevados a cabo en otras áreas se ha constatado que es necesario 1 Hm³ de regulación en tránsito por cada 1.000 Has modernizadas. Esto implica la necesidad de las balsas de regu-

| Cultivo | %(media de escen. II y III) | Has sobre "11595" | Necesidades m ³ /Ha/año | Necesidades totales al 100%efic global(m ³) | Necesidades totales al 70%efic global(m ³) |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|---|--|
| trigo | 6,50 | 753,68 | 2.480,00 | 1.869.114,00 | 2.429.848,20 |
| arroz | 1,10 | 127,55 | 7.840,00 | 999.952,80 | 1.299.938,64 |
| cebada | 8,80 | 1.020,36 | 2.090,00 | 2.132.552,40 | 2.772.318,12 |
| maíz | 38,55 | 4.469,87 | 5.900,00 | 26.372.247,75 | 34.283.922,08 |
| girasol+otros c.i | 18,65 | 2.162,47 | 5.000,00 | 10.812.337,50 | 14.056.038,75 |
| alfalfa | 23,30 | 2.701,64 | 7.010,00 | 18.938.461,35 | 24.619.999,76 |
| leguminosas | 0,60 | 69,57 | 4.700,00 | 326.979,00 | 425.072,70 |
| frutales | 1,15 | 133,34 | 7.165,00 | 955.399,01 | 1.242.018,72 |
| hortícolas | 1,35 | 156,53 | 4.500,00 | 704.396,25 | 915.715,13 |
| total | 100,00 | 11.595,00 | 46.685,00 | 63.111.440,06 | 82.044.872,08 |

6. Se usó la publicación de dicha tesis en el siguiente libro: "Biscarrués-Mallos de Riglos. Inundación o Modernización". Javier Fernández Comuñas y Pedro Arrojo. Egido Editorial. 2000, pg. 233.

7. Necesidades hídricas de los cultivos según Martínez *et al.* (1998): "Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón". Ed. Institución Fernando el Católico, p. 224.

lación en tránsito que liberarían 32 Hm³ adicionales de Monegros I y que se podrían destinar a Monegros II. Ello nos deja con una demanda hídrica por cubrir de 20 Hm³, que podría subsanarse con múltiples opciones. Algunas de ellas son la construcción de un pequeño embalse de estas dimensiones como puede ser el de San Salvador en el canal de Zaidín (Bellver de Cinca), con un coste de 3.900 Mptas según datos de la CHE 1995. Así mismo se ha valorado que con bombeos de 2 m³/seg del aluvial del Bajo Gállego a la acequia de Urdana, se suministrarían 31 Hm³ en época de riego; el coste de esta alternativa se estima en 20 Mptas, más el coste del bombeo, que según Fernández es de 5.000 ptas/Ha/año (ptas constantes de 1998).

Por tomar un escenario que no peque de optimista, consideraremos la referencia de la primera opción que es mucho más costosa; usaremos los ritmos de amortización y ejecución de inversiones utilizados por Fernández en su tesis. Así los 3.900 Mptas en 5 años, suponen un ritmo de gasto de 780 Mptas/año, 843 Mptas del año 98.

Como referencia de costes de las balsas de regulación en tránsito, tomaremos las tres balsas de Bardenas: Malvecino, Carcastillo y Laberné con una capacidad de regulación de 41.5 Hm³ y con un coste de 6.200 Mptas. Esto supone un coste de 149.3 Mptas del 96 el Hm³. A un ritmo de modernización de 3.000 Ha/año, hay que asignar 3 Hm³ cada año, lo que supone un ritmo de inversión por año de 467.971 Mptas del 98, excepto el año 11 para completar las 2.000 Has hasta 32.000 que sale por 311.980 Mptas.

El resto de costes toman la cuantía por Ha que calcula Fernández en su tesis, pero con ritmos de ejecu-

ción de inversión que comienzan el primer año. Ello se debe a que a diferencia del primer caso donde hay que esperar a que el embalse esté construido para empezar a cultivar, la puesta en marcha de regadío contando con el agua procedente del ahorro de la modernización, puede comenzar ya este primer año debido a que en este año ya se ahorra agua que se puede utilizar. Este ritmo de puesta en riego es el que se usa para calcular el beneficio incremental de secano a regadío, tomando las 61.566 pts/ha obtenidas por Fernández para Monegros II.

De este modo obtenemos tras los pertinentes cálculos, unas pérdidas en el proyecto de 19.118,6 Mptas (ptas constantes de 1998). Se tienen pues unas ganancias respecto al escenario 1 de 40.700,9 Mptas.

Pero las ganancias no sólo son monetarias. El valor de la biodiversidad es cada día más evidente, y por ello existen figuras de protección legales. Sirva el dato de que en el área excluida de regadío considerada para este escenario, se encuentran catalogados 93¹¹ hábitats diferentes de la directiva europea; 19 de estos hábitats están en el área que comprende la ZEPA en estos momentos establecida en el área. Ello implica que conservamos 74 hábitats más que en el anterior escenario.

ESCENARIO 3

Es evidente que para regar 1.980 Has sería suficiente con el agua ahorrada por la modernización de Monegros I. Efectuando los cálculos de la demanda hídrica de estas hectáreas de riego, obtenemos 14 Hm³/Ha/año. La necesidad por Ha es de 7.057 Hm³/Ha.

Estos Hm³ se cubrirían con la modernización de

(7). La eficiencia global del sistema, por ser todo regadíos que se crearían con las actuales técnicas que cuentan ya con riego a presión, sería de un 70% según estimaciones de José Manuel Tabuena, técnico del Departamento de Agricultura de la DGA.

8. Esta es la metodología seguida para calcular los 88.5 Hm³ de demanda hídrica de los cultivos obtenidos en el escenario 1.

9. Fernández 2000, pg. 269.

10. Este enfoque es el correcto ya que nos encontramos enjuiciando la rentabilidad de una inversión pública y de marcado interés social, estamos por tanto en el ámbito de la *"evaluación económica (que no financiera), que informa de la rentabilidad de la inversión, pero para la sociedad en su conjunto. Mientras que el inversor privado está interesado en una rentabilidad estrictamente financiera de su inversión, el administrador público, como representante de la sociedad, debe tener como objeto el bienestar social"*. (Arrojo, P. y Bernal, E.) Valoración económica del Proyecto en: "El embalse de Itoiz, la razón o el poder".

11. Obtenido del tratamiento alfanumérico de las cubiertas digitales de hábitats, IBAS, y regadíos.

| Cultivo | %(media de escen. II y III) | Nº Has sobre 1982 | Necesidades m3/Ha/año | Necesidades totales al 100%efic global(m3) | Necesidades totales al 70%efic global(m3) |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------|--|---|
| trigo | 6,50 | 128,83 | 2.480,00 | 319.498,40 | 415.347,92 |
| arroz | 1,10 | 21,80 | 7.840,00 | 170.927,68 | 222.205,98 |
| cebada | 8,80 | 174,42 | 2.090,00 | 364.529,44 | 473.888,27 |
| maíz | 38,55 | 764,06 | 5.900,00 | 4.507.959,90 | 5.860.347,87 |
| girasol+otros c.i | 18,65 | 369,64 | 5.000,00 | 1.848.215,00 | 2.402.679,50 |
| alfalfa | 23,30 | 461,81 | 7.010,00 | 3.237.260,06 | 4.208.438,08 |
| leguminosas | 0,60 | 11,89 | 4.700,00 | 55.892,40 | 72.660,12 |
| frutales | 1,15 | 22,79 | 7.165,00 | 163.311,85 | 212.305,40 |
| hortícolas | 1,35 | 26,76 | 4.500,00 | 120.406,50 | 156.528,45 |
| total | 100,00 | 1.982,00 | 46.685,00 | 10.788.001,23 | 14.024.401,59 |

14.000 Has en Monegros I a través del caudal regulado en tránsito que liberaría 14 Hm³. Esta vez no sería necesario ningún otro embalse adicional.

Siguiendo pasos similares a los del escenario anterior, obtenemos un resultado del análisis coste beneficio de 7.581,2 Mptas de pérdidas. Es decir, obtenemos un beneficio incremental respecto del escenario 1 de 52.238,3 Mptas del 98.

En este caso el número de hábitats diferentes contemplados en la directiva europea que existen en el área de IBAS que se ha excluido de regadíos es de 292. De ellas 119 están en zona de ZEPAS ya existentes en Monegros II. Así que conservamos 173 especies más que en el escenario 1.

El siguiente cuadro muestra los resultados comparativamente:

con la biodiversidad y que introduzca estrategias de ahorro del agua a través de la modernización, incrementa enormemente los beneficios económicos de la actividad agraria, que al haber considerado un contexto paretiano, también lo son sociales.

Esta información es relevante no sólo para el estudio económico citado según la directiva aguas que deberá estar listo en diciembre del 2001, sino según la tendencia que apunta la Agenda 2000. Esta tendencia marca un apoyo a las explotaciones competitivas en lugares aptos según calidad de suelos, clima y otras condiciones ambientales que permitan obtener altas producciones. Además se tiende a reducir ayudas a la producción de excedentes hasta equiparar los precios de intervención a los precios internacionales y a incrementar las ayudas a la producción mediante métodos

| | Nº Has a regar | Demanda hídrica (Hm3) (stra cultivos87-97 MAPA) | Medio para suplir la demanda | Pérdidas VAN i=3% n=40 | Nº especies protegidas | Δ nº especies proteg. Respecto esc.1 |
|-------------|---|---|--|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| ESCENARIO 1 | Proyectadas: 54250 ZEPAS act: 23224 Diferencia: 31.026 | 88,5 | Embalse de Biscarrués | - 59.819 | 119 | |
| ESCENARIO 2 | Proyectadas: 54250 ZEPAS act: 23224 ZEPAS fut: 19431 Diferencia: 11595 | 82 | Modernización de Monegros I más un embalse de 20 Hm³ | - 19.118 | 193 | 74 |
| ESCENARIO 3 | Proyectadas: 54250 IBAS: 52268 Diferencia: 1982 | 14 | Modernización de Monegros I | -7.581 | 292 | 173 |

De este análisis se desprende la clara conclusión de que una evolución hacia escenarios más respetuosos

compatibles con la conservación de la biodiversidad. En palabras de Santiago García¹², en esta situación

12. Santiago García Fernández Velilla: “Monegros: una nueva oportunidad” en Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, Nº. 24. Manifiesto Científico por los Monegros. Volumen Monográfico. A. Melic & J. Blasco-Zumeta (Eds.).

“la adopción de prácticas ambientales en los procesos productivos se revela como la única posibilidad de sostener las rentas en muchas explotaciones agrarias donde la intensificación no es posible o tendría costes económicos, ambientales y sociales inasumibles. Se debe de entender que, en estos casos, la sociedad demanda un cambio de funciones, desde la producción de bienes de consumo excedentarios y sobrantes hasta la producción de bienes y valores colectivos cada vez más apreciados y escasos. Estas ayudas no son por tanto subvenciones a sectores en declive sino el pago que la sociedad realiza por el mantenimiento o generación de dichos bienes y valores colectivos. Además, es previsible que a medio plazo los lugares que hayan conseguido mantener dichos valores vean recompensado su esfuerzo mediante generación de rentas directas. Sirva un ejemplo: en un área reducida del País de Gales las rapaces, perseguidas hasta fechas recientes casi hasta su extinción, han recuperado sus poblaciones gracias a la aplicación de medidas agroambientales. Los ayuntamientos de la zona estiman que el turismo atraído específicamente por las rapaces ha generado rentas por valor de mil millones de pesetas al año, dando lugar en una zona plenamente agraria a todo un nuevo tipo de actividades económicas que incluyen alojamientos, observación de aves y el uso comercial de las especies emblemáticas por las empresas de la zona”.

Un tema que queda pendiente de desarrollar en trabajos posteriores es una revisión de la realidad socioeconómica de Monegros. En concreto necesitamos analizar las pirámides de población y el nivel de profesionalidad de los agricultores, es decir, si su dedicación es a tiempo parcial o completo. Ello es de interés ya que da pautas a la hora de estimar el nivel de relevo generacional que se puede dar en el área, siendo este hecho fundamental para la amortización en las siguientes décadas de la inversión hecha en estos regadíos.

También será de interés analizar la cifra de negocio agrícola que corresponde a explotaciones familiares y la

que pertenece a grandes empresas agrícolas. Es relevante ya que mientras que las primeras juegan un papel fundamental en el asentamiento de población (uno de los principales argumentos para sostener el interés social de estas grandes inversiones en regadíos), las segundas tienen una mínima incidencia en este aspecto, al ser intensivas en tecnología e inputs, pero usar muy escasa mano de obra. Estas grandes empresas suelen usar además tecnologías agresivas y poco respetuosas con el medio.

Nos interesa en definitiva diferenciar la actividad económica rentable desde el punto de vista social y medioambiental de la que sólo es rentable para determinados intereses económicos privados; máxime cuando en dicha actividad intervienen recursos naturales cuya sostenibilidad está amenazada, además de cuantiosos recursos económicos públicos. Por ello en un futuro pretendemos valorar con un sistema de decisión multicriterio distintas alternativas de desarrollo económico al objeto de comparar los distintos aspectos de rentabilidad señalados que éstas ofrecen.

Visto todo ésto, bajo nuestro punto de vista la mejor gestión de los recursos escasos como el agua viene de la mano de una gestión integral de los principales recursos interaccionando en el territorio, acompañado tal y como recomienda la Comisión Europea de un proceso transparente de desarrollo político con la participación de los usuarios/consumidores.

Ello supone un conocimiento de la cuantía usada de los recursos, en este caso del agua, que realmente se necesitan para generar un bienestar en la población¹³ que tenga continuidad en las próximas generaciones, y un conocimiento de los principales impactos que las actividades humanas ocasionan en el medio, en este caso la pérdida de calidad de los suelos, salinización y pérdida de biodiversidad. Este conocimiento es fundamental ya que es el funcionamiento integrado de todas estas variables lo que en última instancia propicia la capacidad de generar riqueza que existe en el territorio.

13. Aunque en términos ortodoxos deberíamos decir para generar desarrollo económico.

ANEXO

| | |
|---|---|
| <pre>PROGRAMA AVENUE PARA EL CÁLCULO DEL ÁREA DE LAS DISTINTAS OPERACIONES GEOGRÁFICAS ' Si hay una vista, tómalala y con su proyección theView = av.GetActiveDoc thePrj = theView.GetProjection if (thePrj.IsNull) then hasPrj = false else hasPrj = true end ' Toma la lista de temas activos, si no hay, házselo saber al usuario ' y sal theActivethemeList = theView.GetActivethemes if (theActivethemeList.Count = 0) then MsgBox.Error("No active themes.", "") Exit end 'Haz un loop en la lista de temas activos y si no puedes editarlos, ' informa al usuario For Each thetheme in theActivethemeList theFTab = thetheme.GetFTab if (theFTab.CanEdit.Not) then MsgBox.Info("Cannot edit table for theme:"++thetheme.AsString,"") Continue end ' Haz la FTAB editable, y averigua qué tipo de feature es. theFTab.SetEditable(TRUE) theType = theFTab.FindField("chape").GetType if (theType = #FIELD_SHAPEPOLY) then ' si es poligonal, comprueba la existencia de campos "Area" ' Y "Perimeter". Si no existen, créalos. if (theFTab.FindField("Area") = nil) then theAreaField = Field.Make("Area",#FIELD_DOUBLE,16,3) theFTab.AddFields({theAreaField}) else ok = MsgBox.YesNo("Update Area?", "Calculate", true) if (ok.Not) then continue end theAreaField = theFTab.FindField("Area") end if (theFTab.FindField("Erimeterb") = nil) then theErimeterbField = Field.Make("Erimeterb",#FIELD_DOUBLE,16,3) theFTab.AddFields({theErimeterbField}) else ok = MsgBox.YesNo("Update Erimeterb?", "Calculate", true)</pre> | <pre> if (ok.Not) then continue end theErimeterbField = theFTab.FindField("Erimeterb") end 'Haz looping a través de la FTAB y encuentra el área proyectada y el perímetro para cada polígono, luego ' establece los valores apropiados del campo theShape = theFTab.ReturnValue(theFTab.FindField("chape"),0) For Each rec in theFTab theFTab.QueryShape(rec,thePrj,theShape) theArea = theShape.ReturnArea theErimeterb = theShape.ReturnLength theFTab.SetValue(theAreaField,rec,theArea) theFTab.SetValue(theErimeterbField,rec,theErimeterb) end elseif (theType = #FIELD_SHAPELINE) then ' Si la fuente de datos es línea, comprueba la existencia del campo "Length". Si no existe, créala. if (theFTab.FindField("Length") = nil) then theLengthField = Field.Make("Length",#FIELD_DOUBLE,16,3) theFTab.AddFields({theLengthField}) else ok = MsgBox.YesNo("Update Length?", "Calculate", true) if (ok.Not) then continue end theLengthField = theFTab.FindField("Length") end ' Haz looping a través de la FTAB y calcula la longitud proyectada de cada forma lineal, ' and set the field values appropriately. theShape = theFTab.ReturnValue(theFTab.FindField("chape"),0) For Each rec in theFTab theFTab.QueryShape(rec,thePrj,theShape) theLength = theShape.ReturnLength theFTab.SetValue(theLengthField,rec,theLength) end end</pre> |
|---|---|

Administración pública y comunidades de usuarios. La administración pública y la política de aguas de la Unión Europea

■ **José Carles Genovés**

Departamento de Economía Aplicada. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
Universidad Politécnica de Valencia

Principios de la política europea de aguas

La Administración Pública del agua es uno de los pilares fundamentales de la política hidráulica. La configuración, naturaleza y funciones que la sociedad encarga y exige a los órganos especializados de la administración, deben estar en consonancia con los principios y objetivos básicos de esta política; de tal manera que los cambios relevantes de estos principios y objetivos, en la medida que son la manifestación de nuevas demandas sociales, deben inducir a una coherente transformación en o de los órganos de la Administración para que puedan asumir con ciertas garantías de éxito la responsabilidad de satisfacerlas.

Hace ya prácticamente un par de décadas que comenzó a denunciarse la inviabilidad de la persistencia de las pautas de comportamiento social en torno al agua; entendiendo en este caso el término social en su sentido más amplio que incluiría desde los que de alguna forma tienen responsabilidades y toman decisiones que afectan en forma directa e inmediata al ciclo hidrológico, como a aquellos otros –los consumidores– que demandan el acceso a volúmenes crecientes

de bienes y servicios a precios lo más bajos posibles cualquiera que fuesen los costes en los que se incurra.

Las pautas de comportamiento tradicionales han estado orientadas hasta fechas muy recientes por el principio de que el agua no es un bien escaso, salvo excepciones en algunos territorios. Su “aparente” escasez sólo derivaba de la irregularidad espacial y temporal de su disponibilidad en contraposición con las necesidades, en unos casos uniformes y en otras con una irregularidad diferente a la anterior. La construcción de grandes obras de regulación y transporte ha sido el medio sobre el que se han vertebrado las políticas hidráulicas, sectoriales y territoriales, con el objeto de poner agua a disposición de los posibles usuarios eliminando o reduciendo la irregularidad temporal y espacial, a lo que habría que añadir que esta disposición se produjese a precios o tasas muy bajas o nulas con el objeto de favorecer el crecimiento de los grandes núcleos de población y de estimular la actividad económica, especialmente la agricultura de regadío.

Los efectos de este modelo –que algunos han llamado “política de oferta” (Carles, 1992)– han sido sin duda positivos en el sentido de que buena parte de los

objetivos previstos se han podido cumplimentar. Desde la seguridad de los abastecimientos urbanos en una sociedad en la que en unas pocas décadas ha experimentado un proceso de urbanización sin precedentes, hasta la provisión de un alto grado de seguridad alimentaria y de condiciones favorables para el asentamiento de población rural, propiciadas ambas por la expansión de las superficies de regadío en grandes áreas en todos los continentes.

Pero hace ya tiempo que se ha producido la quiebra de este modelo que ha entrado en una crisis de principio, y los efectos negativos de su largo periodo de permanencia son, con el paso del tiempo cada vez más evidentes e intensos. El agua ha dejado de ser un bien no escaso en múltiples regiones; la obtención de nuevos recursos disponibles en el tiempo y lugar deseado es cada vez más compleja y con costes marginales crecientes lo que pone en compromiso la financiación pública de las obras hidráulicas; la permanencia de los derechos de uso establecidos entra en contradicción, con frecuencia cada vez mayor, con los nuevos demandantes, produciendo conflictos en número y magnitud crecientes; se produce un importante “despilfarro” en las redes urbanas y agrarias técnica y económicamente ineficientes desde la perspectiva de que el agua es escasa; creciente deterioro de la calidad de las aguas continentales y fuertes impactos negativos en humedales y entornos biológicos de los ríos, etc.

Y lo que probablemente sea el peor de sus efectos es la generalización de una “cultura” del uso del agua según la cual deben ser la administración pública la que resuelva los problemas que se generen y la que continúe poniendo a disposición de los ciudadanos agua en cantidad y calidad suficiente para su uso privativo de modo que ésta no constituya en ningún caso un factor limitante para el desarrollo de cualquier actividad productiva.

Ante esta situación, desde muy distintos foros nacionales e internacionales se llama la atención sobre la necesidad de un cambio radical de modelo en el que partiendo de los principios de que el agua es ya un bien

escaso en relación con unas necesidades crecientes del sistema productivo, y que no sólo debe ser considerada como un factor de producción sino como un bien ecológico y social que es preciso conservar, se ponga el acento en un conjunto de acciones –inversiones públicas o privadas, incorporación de nuevas tecnologías, nuevo régimen económico, condiciones y limitaciones en los, etc.– que tengan como objetivo primero el ahorro del agua y la preservación de su calidad y de los ecosistemas. Es lo que se está conviniendo en llamar modelos de gestión de la demanda (López 1997).

Ante estos y otros problemas, relativamente nuevos, en la Conferencia Internacional sobre el agua y el medio ambiente celebrada en Dublín en enero de 1992 con la asistencia de 113 países, se llamó la atención a la comunidad internacional de que *“la escasez y el uso abusivo del agua dulce plantea una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humanos, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y los ecosistemas que de ella dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe de forma más eficaz en el presente decenio que en el pasado”*.

En el congreso de la Asociación Internacional de Abastecimiento de Agua de 1995, se planteó que los nuevos problemas surgidos por la creciente escasez, y los nuevos requerimientos de conservación de los recursos y del medio ambiente hídrico, exigen un cambio de actitudes y políticas, en las que la planificación deje de orientarse fundamentalmente a generar la oferta de recursos para atender a unas necesidades teóricas calculadas, y reconvertir el modelo hacia una *planificación integrada de recursos* en el que se contemplen al menos; la gestión integrada de la demanda y la oferta, poniendo el acento en el desarrollo de tecnologías generadoras de recursos por el ahorro en las actividades tradicionales y por la ganancia de la calidad derivada de la depuración de las residuales; la gestión conjunta del agua y el medio ambiente; la evaluación en los diferentes planes y proyectos de la totalidad de los

costes y beneficios económicos, sociales y medioambientales y la integración de los colectivos implicados, directa o indirectamente, tanto en la planificación como en el desarrollo de las actuaciones.

Las dificultades de pasar de la retórica a los hechos son evidentes, porque enfrente está fuertemente asentado un complejo sistema de derechos, usos y costumbres fuertemente mediatizados por la persistencia de los modelos anterior, al tiempo que se producen unas necesidades crecientes en la producción de bienes y servicios y una mayor exigencia conservacionista. Quizás sea oportuno constatar aquí las dificultades para estos cambios en nuestro país, pues no debemos olvidar que la Ley de Aguas de 1985, modificada en varias ocasiones desde entonces, prevé que todas las acciones que afecten al ciclo hidrológico estén en concordancia con el Plan Hidrológico Nacional. Pues bien, han pasado quince años –cinco más del tiempo que se había previsto para ejecutar en su totalidad el primer horizonte de la planificación– también han pasado cinco gobiernos de distinto corte político, y el plan sigue estando en fase de elaboración.

Tras más de cien años de políticas de oferta a bajos precios, el cambio de principios, y en consecuencia de objetivos y de formas de gestión, exige la una profunda renovación de instituciones y el establecimiento de estímulos que provoquen en los actores sociales cambios de conducta en coherencia con los nuevos principios.

Con esta intención surge la llamada *Directiva del Agua de la Unión Europea*, como resultado de las solicitudes realizadas a la Comisión a lo largo del segundo semestre de 1996 por parte del Consejo, del Comité de las Regiones, del Comité Económico y social y finalmente del Parlamento Europeo; para que realizase una propuesta de directiva que proporcionase un marco en el campo de la política de aguas europea; y que tras sucesivos documentos y debates ha sido aprobada por el Consejo al final del mandato de la presidencia portuguesa. Las implicaciones de la directiva en las políticas de agua y en las administraciones públicas de los

Estados miembros son en nuestra opinión importantes puesto que exige el establecimiento de unos objetivos, estrategias y medidas en consonancia con los nuevos planteamientos arriba indicados.

La nueva política del agua de la Unión Europea se establece de acuerdo con una serie de principios que podríamos sistematizar en los siguientes:

- Consideración del agua como un activo ecosocial y definición de objetivos en coherencia con la misma.

- Principios territoriales y de gestión: acción integral y unidad de cuenca.

- Principio de planificación para el logro de los objetivos.

- Política medioambiental mixta con utilización de instrumentos económicos y de regulación y control.

- Principio de transparencia y participación social.

La lectura del desarrollo concreto de estos principios, nos deberá permitir evaluar hasta que punto la administración hidráulica actual en nuestro país puede abordar con garantías de éxito esta nueva orientación.

El agua como activo ecosocial. Los objetivos de la política de aguas de la Unión Europea

En la exposición de motivos de la Directiva se parte de la base de que “*el agua no es un producto comercial como cualquier otro sino que constituye un patrimonio*” sometido a presiones crecientes derivadas del continuo crecimiento de la demanda de agua de calidad para todos los propósitos, “*que debe ser protegido y defendido*”; y en coherencia con esta concepción establece a lo largo de su articulado y en unos amplios anejos un conjunto de principios, objetivos, acciones y métodos que ponen el acento casi exclusivamente en el mantenimiento y mejora de la calidad de las aguas continentales y costeras y de los ecosistemas terrestres y marinos dependientes de ellas.

Los esfuerzos comunes establecidos para coordinar las acciones de los Estados miembros tienen como objetivos generales definidos expresamente, la protec-

ción de las aguas en términos de calidad y cantidad, la promoción del uso sostenible del agua, el control de los problemas transfronterizos, la protección de los ecosistemas acuáticos, terrestres y de las zonas húmedas dependientes y la salvaguarda y desarrollo de los usos potenciales especialmente en beneficio de la seguridad para el abastecimiento de agua potable.

De acuerdo con Aguilera, F (1997) *“la diferencia existente entre una mercancía y un activo ecosocial vendría dada por el tipo de limitaciones –la configuración del derecho– que la sociedad establece para llevar a cabo ciertas acciones”* y si bien la Directiva no explicita prácticamente ninguna limitación sobre los usos del agua a excepción de determinados vertidos, al poner el acento en la naturaleza del agua como activo ecosocial cuya componente productiva es solo un aspecto de la misma, en nuestra opinión no deja pie a ninguna duda respecto a que la utilización del agua para cualquier finalidad productiva deberá quedar condicionada en el futuro al mantenimiento de unos rigurosos objetivos del estado cualitativo y cuantitativo de las masas de agua. Tan solo reconoce que en algunas masas de agua, bien por el grado de afección actual de la actividad humana o bien por sus naturales condiciones, el logro de los rigurosos objetivos de calidad exigidos para el conjunto de las aguas puede ser imposible o exigir costos *“no razonables”*; pero incluso en tales casos se exige la fijación de unos objetivos específicos de calidad y la adopción de medidas para alcanzarlos e impedir un mayor deterioro.

Objetivos de la nueva política

Del conjunto de objetivos comentados más arriba, la directiva hace especial hincapié en la definición de los medioambientales a lo que dedica los extensos artículo cuarto y anejo quinto. El ámbito para el establecimiento de los objetivos se extiende a todas las aguas continentales y a las marinas de una franja que puede ser potencialmente afectada por los flujos de las pri-

meras o por los vertidos directos de las áreas costeras; añadiendo por tanto estas últimas a lo que en nuestro país constituye el dominio público hidráulico. Tampoco se excepcionan las aguas minero medicinales tal como lo hace la actual Ley de Aguas.

Para la definición de los objetivos se diferencia entre aguas superficiales y subterráneas. Entre las aguas superficiales se consideran cinco tipos: ríos, lagos, aguas de transición entre aquellas y el mar, costeras de la franja comentada antes, y masas de agua artificiales o fuertemente modificadas por la acción del hombre. Para cada uno de los cuatro primeros tipos se establecen los criterios para las correspondientes definiciones normativas del estado ecológico del agua que se clasifica en alto, bueno, moderado, pobre y malo; y para las artificiales o fuertemente modificadas se definen los respectivos niveles del llamado estado ecológico potencial.

Además de las definiciones del estado ecológico de las aguas superficiales se establece asimismo criterios normativos para la definición del buen estado de calidad química de las aguas en función del cumplimiento de los estándares de calidad que deberán definirse previamente de acuerdo con el procedimiento establecido en el artículo 16 y anejo V, y que comentaremos más adelante.

El estado de cada masa de agua superficial se deberá establecer como el peor de los estados ecológico y químico y con carácter general se establece que los Estados miembros protegerán, mejorarán y restaurarán todas las aguas superficiales, con algunas excepciones, para el logro del buen estado del agua en un periodo de 15 años desde la entrada en vigor de la directiva, de manera que tanto el estado ecológico como el químico deberán alcanzar al menos la calificación de bueno. En el caso de aguas artificiales o fuertemente modificadas el objetivo de buen estado ecológico es sustituido por el buen estado ecológico potencial definido en términos del estado más cercano posible al buen estado ecológico teniendo en cuenta la naturaleza de la masa del agua y una vez hayan sido tomadas todas las medidas

posibles para su aproximación al buen estado ecológico del tipo de agua más próximo.

En el caso de las aguas subterráneas se establece la normativa para la definición del estado cuantitativo y del estado químico. El buen estado cuantitativo exige que la tasa anual de extracción a largo plazo no exceda a los recursos disponibles, definidos estos últimos como la diferencia entre la tasa anual de la recarga a largo plazo y el flujo requerido para el logro de los objetivos de calidad de las aguas superficiales asociadas y para evitar cualquier daño significativo en los ecosistemas terrestres asociadas. Las alteraciones en el nivel y en la dirección de los flujos resultantes de la explotación de los acuíferos no deben provocar intrusión marina ni ninguna otra.

El buen estado químico se define en términos de inexistencia de intrusiones, de la no afección a los objetivos de calidad de las aguas superficiales o ecosistemas terrestres asociadas y de no exceder los estándares de calidad aplicables por la legislación comunitaria existente ni los que deberán establecerse con el procedimiento establecido en el artículo 16 que se comentarán mas adelante. El estado de cada masa de agua subterránea se calificará como el peor de los estados cuantitativo y químico, y con carácter general se establece que se debe lograr el buen estado de todas las aguas subterráneas, también con algunas excepciones, en un periodo de 15 años desde la entrada en vigor de la directiva.

Conviene remarcar aquí –desde la perspectiva del análisis de las exigencias de la política de aguas a la administración pública– el alto grado de complejidad y el carácter multidisciplinar de la normativa para la definición de los estados ecológicos; ya que en ella entran en juego un gran número de elementos de naturaleza estrictamente biológica (flora, fauna, microflora, etc.); hidromorfológicos (régimen hidrológico, estructura del substrato del lecho, etc.) y físico-químicos (condiciones térmicas, de oxigenación, salinidad, nutrientes, acidificación y contenido en contaminantes).

La diferencia entre el planteamiento de la Directiva para el establecimiento de los objetivos y el de los Planes hidrológicos de nuestras cuencas resulta evidente tanto por el ámbito de aplicación como en la metodología de las definiciones normativas y los estados de calidad exigibles. En general, en los Planes actuales de las cuencas se propone evitar los estados eutróficos de los embalses para uso humano y alcanzar el estado de agua prepotable en el 8% de los recursos renovables, salmonícola un 23% de baño el 48% (MMA, 1998).

A nadie se nos puede ocultar las dificultades derivadas de la extensión de la regulación y actuaciones a las aguas costeras y mineromedicinales, de la complejidad para la definición de los estados del agua, y sobre todo de la dificultad de cumplimiento de los objetivos genéricos establecidos por la directiva habida cuenta el estado de buena parte de las masas de agua superficiales y subterráneas en nuestro país, del que por otra parte existe muy poca o nula información en buena parte del territorio.

Acción integrada y Unidad de Cuenca

Siempre con el objetivo de la protección del medio natural se establece el principio de una mayor integración de los aspectos cuantitativos y cualitativos tanto de las aguas superficiales como las subterráneas, teniendo en cuenta no sólo la interrelación entre los flujos de ambas en el ciclo hidrológico sino también los efectos que el deterioro de cada una de ellas pueda tener en los ecosistemas.

Tal como se indica en la exposición de motivos “*el objetivo de alcanzar el buen estado de las aguas será perseguido en cada una de las cuencas, de tal forma que las medidas respecto a las aguas superficiales y subterráneas pertenecientes al mismo sistema ecológico, hidrológico e hidrogeológico estarán en coordinación*” y “*para los propósitos de protección ambiental es necesaria una mayor integración de los aspectos cuantitativos y cualitativos de las aguas superficiales y subterráneas, teniendo en cuenta las condiciones*

naturales de flujo del agua dentro del ciclo hidrológico”.

La integridad de las actuaciones no solo se refiere pues a la de los aspectos cualitativos y cuantitativos y a la interrelación entre las superficiales y subterráneas, sino que se extiende a los ecosistemas acuáticos de las aguas costeras, y a los ecosistemas terrestres, y así se reconoce expresamente que *“una efectiva y coherente política hidráulica debe tener en consideración la vulnerabilidad de los ecosistemas acuáticos localizados en las costas, estuarios, golfos o mares cerrados, ya que su equilibrio está fuertemente influenciado por las aguas continentales que entran en ellos”*. Por otra parte esta integración entre la política de aguas y la protección de los ecosistemas se pone de manifiesto de forma significativa en la metodología para la definición de los estados de calidad de las aguas, que debe hacerse como hemos visto sobre la base de múltiples criterios entre los que destaca el estado de los sistemas biológicos de las masas de agua superficiales, incluidas las de transición y costeras, y de los ecosistemas terrestres dependientes de las aguas subterráneas.

El ámbito de aplicación de todos los objetivos, planes y medidas coordinadas se extiende a todas las aguas continentales y costeras de cada uno de los *Distritos de Cuenca*. Se define la cuenca hidrológica como el área desde la cual el agua fluye, a través de una secuencia de corrientes, ríos y posiblemente lagos, hasta el mar y exige a los estados miembros la asignación de cada una de ellas o grupos de ellas a un Distrito de cuenca al que se deberá asignar así mismo las aguas subterráneas y las costeras más próximas.

En cada Distrito de cuenca deberá identificarse una autoridad con competencia para la aplicación y control de las obligaciones dimanadas de la Directiva en el respectivo territorio. En el caso de las cuencas cuyo territorio discorra por mas de un Estado miembro, deberá constituirse un único Distrito internacional en el que cada Estado miembro deberá identificar la autoridad que ejercerá la competencia en la parte de territorio correspondiente.

En el plazo de cuatro años desde la entrada en vigor de la Directiva, cada Distrito hidrográfico deberá realizar un análisis de sus características, del impacto de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y subterráneas; un análisis del uso del agua; así como un registro de las áreas protegidas.

El *análisis de las características* deberá al menos identificar todas las masas de agua; clasificarlas de acuerdo con los tipos establecidos (ríos, lagos, de transición, costeras, artificiales o fuertemente modificadas, subterráneas y áreas protegidas), y establecer los valores de referencia de los elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos para la definición del alto estado ecológico, con la metodología que se establece en el anejo V.

El *análisis del impacto* debe culminar con la estimación de la probabilidad de incumplimiento de los objetivos de calidad establecidos en todas y cada una de las masas de agua identificadas en el análisis anterior en cada uno de los Distritos. Para lo cual deberá llevarse a cabo en cada una de ellas una estimación de la contaminación tanto puntual como difusa de origen urbano, industrial, agrícola y otros; cuantificar la derivación y extracción de agua para los diferentes usos incluyendo las variaciones estacionales, así como las pérdidas en los sistemas de distribución y transporte; evaluar las interrelaciones entre las aguas subterráneas con las superficiales y las de estas con los ecosistemas acuáticos y terrestres; y por último evaluar el uso del suelo urbano, industrial, agrario, pesquerías, bosques o cualquier otro riesgo significativo de impacto.

Para aquellas masas de agua que de acuerdo con el análisis precedente tengan significativo riesgo de incumplimiento del objetivo de alcanzar el buen estado, deberá intensificarse su caracterización al objeto de diseñar los programas de medidas y controles previstos en la directiva y que comentaremos mas adelante.

El *análisis económico* exigido en cada Distrito tiene como objeto evaluar el impacto de la aplicación del principio de recuperación de costes y la estimación de los costes potenciales necesarios para el logro de los

objetivos de calidad, para lo que deberán estimarse los volúmenes de agua utilizados por todos los usos, los precios y costos asociados con el uso del agua y las inversiones relevantes incluidas las previsiones de inversión.

El *registro y análisis de las áreas protegidas* en el territorio de cada Distrito, deben incluir todas aquellas áreas en las que se utilicen o se hayan reservado recursos para el consumo humano actual o futuro que abastezcan a mas de cincuenta personas o supere los 10 m³/día, además de las áreas aguas reservadas para baño y zonas recreativas (Directiva 76/160); las designadas como sensibles (Directiva 91/271), o vulnerables (Directiva 91/676) y todas aquellas designadas para la protección de especies acuáticas económicamente significativas o para la protección de hábitats o especies cuya protección requiera el mantenimiento del estado del agua, incluyendo las Natura 2000 (Directivas 92/43; 97/6274/409 y 97/49).

Los importantes cambios en los objetivos de la política hidráulica planteados por la nueva política de aguas de la comunidad, junto con el entramado de intereses y competencias que confluyen en diversas administraciones en materias ligadas a la política hidráulica, exigen una profunda reestructuración de los órganos actuales de administración hidráulica. Resulta evidente que la experiencia en la aplicación del criterio de unidad de gestión de las cuencas por parte de las Confederaciones Hidrográficas es una ventaja considerable de la administración española, pero para la identificación y funcionalidad de las autoridades de los Distritos de cuenca tal como los contempla la nueva política comunitaria habrá que resolver en un plazo relativamente corto problemas de gran envergadura como son los problemas de competencias entre administraciones, la inclusión de las aguas marinas y áreas protegidas en el dominio de actuación de los mismos, amén de ampliar cuantitativa y cualitativa de los medios técnicos y personales para hacer frente a las múltiples y variadas exigencias de esta directiva.

La Ley de Aguas estableció claramente el principio

de unidad del ciclo hidrológico y declaró como dominio público hidráulico del Estado la totalidad de las aguas continentales, superficiales y subterráneas renovables, los cauces de corrientes naturales, los lechos de lagos, lagunas y embalses, así como los acuíferos e efectos de disposición o afección de los recursos –con la excepción de las termale y minerales y otras de escasa relevancia– y el principio de la subordinación de toda actuación sobre el dominio público hidráulico a la planificación, actividad que se reserva en exclusiva el Estado para todo el territorio nacional. Aun cuando el esquema competencial parece claramente definido, en la práctica diaria se producen múltiples interferencias entre las diferentes administraciones que menoscaban la eficacia y la transparencia de las actuaciones. La planificación y la administración de los recursos hidráulicos están son competencia del Estado, las Confederaciones Hidrográficas, y las Comunidades Autónomas en las cuencas intracomunitarias; pero cuando se profundiza en la cuestión aparecen toda una serie de instituciones públicas cuyas competencias y funciones en materias directamente relacionadas con la utilización del agua ejercen una fuerte influencia en la gestión y administración del recurso que se verá acentuada en el proceso de aplicación de los mandatos de la Directiva. Nos referimos especialmente a las competencias en materia medio ambiente y costas, en general asumidas por las comunidades autónomas así como a las de abastecimientos y saneamientos de estas y de la administración local.

La pluralidad de competencias que gravitan sobre el agua plantea no pocos conflictos especialmente relevantes entre las correspondientes a medio ambiente, costas y las de dominio público hidráulico. El reconocimiento de estos problemas se ha reflejado en la modificación del artículo 23 de la Ley de aguas en la que se autoriza de forma genérica a los Organismos de cuenca a celebrar convenios –que por otra parte ya era práctica común– de colaboración con las Comunidades Autónomas y las Administraciones locales y las Comunidades de usuarios para el ejercicio de sus res-

pectivas competencias y se establece el requisito de someter a informe previo de las Comunidades Autónomas los expedientes sustantivos sobre la utilización de dominio público hidráulico así como los planes programas y acciones realizados por los organismos de cuenca en el ámbito de su competencia para la gestión de la demandas a fin de promover el ahorro y la eficiencia económica y ambiental. También se ha incorporado a este artículo de la Ley el requisito de informe previo de las Confederaciones sobre los actos y planes que hayan de aprobar las Comunidades Autónomas en materia de medio ambiente, espacios naturales, pesca, montes, regadíos, obras públicas, etc., cuando afecten al régimen de aprovechamiento de aguas o a otros usos del dominio público hidráulico.

La afirmación del Tribunal Constitucional (TC 1993) de que *“el ejercicio de la pluralidad de competencias del Estado y las Comunidades Autónomas en materias relacionadas con el agua, requerirá con mucha frecuencia el establecimiento de mecanismos de colaboración”* adquiere mayor relevancia tras la puesta en vigor de la nueva política de aguas de la Unión Europea.

Si bien es cierto que con la nueva organización de la administración pública del agua se ha mantenido el principio de la unidad de cuenca y de todas las aguas continentales, también es cierto que no se han producido los cambios necesarios en los órganos de la administración, técnicos y de gestión, que permita abordar con eficacia los cometidos exigidos por la propia Ley de aguas que se ven ahora ampliados cualitativa y cuantitativamente. La transformación de la administración hidráulica territorial y de la tradicional dualidad de la misma: Confederaciones Hidrográficas –organismos autónomos encargados de la construcción y explotación de las obras hidráulicas del Estado– y Comisarías de Aguas como servicios territoriales de la Comisaría Central de Aguas con territorio coincidente con el de las confederaciones, se ha intentado resolver mediante la constitución de los actuales organismos de cuenca, pero en la práctica se está todavía muy lejos de

lograr una auténtica integración. Lo que realmente se ha producido hasta el momento es una agrupación de los anteriores servicios bajo la dependencia de un Presidente con amplios poderes formales. La estructura de las actuales direcciones técnicas es casi un calco de los servicios de las antiguas confederaciones con una fuerte especialización en la redacción de proyectos, construcción y explotación de las obras hidráulicas encargadas por el Ministerio a las confederaciones, y la de las comisarías de aguas son también prácticamente un calco de las antiguos servicios territoriales, ya que continúan especializadas y dedicadas fundamentalmente a la tramitación de expedientes de concesiones, autorizaciones, etc., y en consecuencia desarrollando una actividad con mayor contenido administrativo y formal que técnico y de control efectivo del dominio público.

Un somero análisis de las plantillas actuales de las confederaciones, tras la modificación sucesiva de la relación de puestos de trabajo, resulta concluyente en este sentido. Ni se han producido los incrementos de personal que serían necesarios para acometer las nuevas funciones, ni se ha diversificado la especialización del personal técnico para hacer frente al carácter multidisciplinar de la nueva política prevista por la propia Ley. Las oficinas de planificación han sido muy escasamente dotadas y en general con personal anteriormente adscrito y especializado en las funciones tradicionales de las antiguas Confederaciones o Comisarías. Los servicios de las comisarías de aguas no son mayores en número de efectivos técnicos que los que precedían a la Ley, ni se ha diversificado su especialización, a pesar de haber ampliado substancialmente sus funciones e incluso el territorio al ampliar su actividad a las aguas subterráneas.

Tan solo en relación con las funciones tradicionales de las direcciones técnicas se puede afirmar que están suficientemente dotadas, por lo que difícilmente con los medios personales, técnicos y financieros puestos a disposición de las nuevas Confederaciones Hidrográficas, se pueden ejercer con la eficacia necesaria las nue-

vas responsabilidades que la política comunitaria va a exigirles y lo que es peor; con el riesgo de que en el diseño efectivo de la planificación y la política hidráulica continúe la inercia de crecimiento de la oferta del recurso desarrollada en periodos anteriores, con criterios y actitudes inadecuados a la situación actual.

Los Planes de los Distritos de cuenca hidrográfica

Como en la legislación española, la política de aguas de la Comunidad derivada de la Directiva establece el principio de la planificación, sí bien desde una perspectiva muy diferente tanto por el contenido exigido a los planes como por el alcance de ambos principios.

La Directiva exige la redacción de un Plan de actuación en el territorio de cada uno de los Distritos de cuenca. En los internacionales intercomunitarios se prevé que los Estados miembros implicados acuerden un único plan para toda la cuenca, no obstante deja abierta la posibilidad de que al menos la autoridad del distrito dentro de cada Estado por el que discurra la cuenca establezca un plan para el ámbito territorial propio.

A diferencia de los planes hidrológicos de cuenca y nacional españoles, se conciben los planes como un documento público en el que se recoja un resumen de los estudios, objetivos, programas, medidas e instrumentos de acuerdo con lo exigido por la directiva para el logro de los objetivos de calidad en las masas de agua y áreas protegidas del territorio de cada Distrito hidrográfico. Las exigencias mínimas de este documento son sumariamente las siguientes:

- Una descripción general de las características de todas las aguas con identificación de las condiciones de referencia para el establecimiento de los niveles de estado citados anteriormente.

- Un resumen de los impactos y las presiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y subterráneas: contaminación puntual, difusa, extracciones, etc.

- Identificación de las áreas protegidas.

- Un listado de objetivos medioambientales de todas las masas superficiales, subterráneas y en las áreas protegidas.

- Un resumen de los análisis económicos citados con anterioridad.

- Un resumen de los programas de medidas previstas para el logro de los objetivos de calidad y para la reducción o eliminación de agentes contaminantes incluida la reducción de riesgo de impacto de contaminación accidental.

- Un mapa de las redes de control y vigilancia de la calidad de las aguas y de los resultados obtenidos en las mismas.

- Un resumen de los controles de derivación y extracción y vertidos puntuales.

- Un resumen de la información pública y de las consultas efectuadas de acuerdo a lo establecido en la Directiva.

Los planes deberán publicarse nueve años después de la entrada en vigor de la Directiva y actualizarse sucesivamente en periodos de seis años. En las sucesivas revisiones se deberá incluir un resumen de cualquier cambio o actualización realizada desde la versión anterior, una evaluación de los progresos habidos en el logro de los objetivos medioambientales y una explicación de las medidas previstas y establecidas en los planes anteriores que no fueron realmente implementadas.

De una primera lectura de los contenidos exigibles en los planes parece derivarse que se concibe como un documento que recopile toda la información, compromisos y medidas concretas implementadas por las respectivas autoridades de Distrito exigidas por la Directiva con carácter general, y se haga público para facilitar el seguimiento de su cumplimiento. Los planes no tienen en sí mismos carácter normativo como el Plan Hidrológico Nacional o los planes de cuenca españoles. Por una parte se refieren casi exclusivamente al mantenimiento y mejora de la calidad de las masas de agua y no existe nada parecido a supeditar las

actuaciones sobre el dominio público hidráulico a lo establecido en los planes de Distrito mas allá de las limitaciones o prohibiciones que las medidas implementadas puedan haber impuesto.

Instrumentos para la política de aguas

Al ser la política comunitaria de aguas una política medioambiental la determinación de las estrategias e instrumentos para el logro de sus objetivos se enmarcan en principios medioambientales tales como el *principio de precaución* siguiendo la declaración de Río sobre el Medioambiente y Desarrollo “*para la protección del medio ambiente, el principio de precaución será ampliamente aplicado por los Estados de acuerdo con sus capacidades... las deficiencias del pleno conocimiento científico no serán razón para posponer medidas costo-eficientes para prevenir la degradación ambiental*”. La aplicación de este principio “*explícitamente reconoce la existencia de incertidumbres y pretende evitar daños irreversibles con la imposición de márgenes de seguridad en la política*” (OCDE, 1994). Así mismo se reconoce el *principio de prevención* mediante el cual se pretende impedir la generación de la contaminación en la fuente.

Coherentemente con estos principios se establecen fundamentalmente dos tipos de estrategias:

- a) La realización de proyectos públicos sustituyendo o complementando a la iniciativa privada para la preservación, conservación y rehabilitación para el logro de los objetivos. La financiación pública de estas acciones está contemplada en la Directiva como excepción al principio de recuperación de costes (Art. 9.3), si bien no establece directriz alguna al respecto.
- b) Establecimiento de instrumentos que influyan o modifiquen los procesos de decisión individuales de los agentes tanto usuarios del agua para las actividades económicas como contaminadores potenciales. La extensa y correcta utilización de estos instrumentos es considerada fundamental para el logro de los objetivos previstos, implementando una política mixta con ins-

trumentos de regulación y control e instrumentos económicos. Baumol y Oates (1975) entre otros autores, han justificado la conveniencia de la política de utilización conjunta de ambos tipos de instrumentos frente a las visiones más liberales que se inclinan por utilizar tan solo instrumentos económicos o a las mas intervencionistas que se inclinan por los instrumentos de regulación administrativa.

Instrumentos económicos

Con los instrumentos económicos se pretende estimular a la iniciativa privada o entidades públicas usuarias del agua o potencialmente contaminantes a un uso eficiente del agua y a unos comportamientos en coherencia con los objetivos de calidad, sin imponer restricciones a su actividad. La intención de estimular los comportamientos de los agentes predomina sobre los posibles efectos recaudatorios o el carácter finalista que pudieran tener los ingresos generados, temas estos últimos a los que la Directiva no hace ninguna referencia.

El traslado del costo al usuario debería ser el mecanismo de información de la escasez del recurso o de su afección a su calidad y en consecuencia de los costos crecientes a medida que se intensifica el uso del recurso en una cuenca. Aunque no existen suficientes estudios sobre la elasticidad precio de la demanda del agua, parece bastante claro que la demanda de abastecimientos es muy inelástica, como parece serlo también la demanda para usos hidroeléctricos. Respecto a los usos agrícolas los estudios existentes parecen probar que depende del tipo de cultivos y sistemas de explotación. En toda la agricultura hortofrutícola del área mediterránea hemos realizado estudios que nos indican que la demanda es también muy inelástica (Carles, 1997), siendo sin embargo más elástica en los regadíos extensivos continentales (Sumpsi *et al*, 1998). Si esto es así, y todo apunta a que lo sea, no cabe esperar que la fijación de una política de precios basada en el principio de recuperación de los costos de

los servicios del agua provoque relevantes descensos en el consumo, aunque afectaría negativamente con mayor rigor a la agricultura continental, asentada en territorios en los que existen menos alternativas de creación de riqueza, y podría moderar considerablemente las demandas agrarias que se han establecido en los planes hidrológicos de las cuencas.

La Directiva establece que el uso de instrumentos económicos puede ser apropiado como parte de las medidas para el logro de los objetivos medioambientales y del eficiente uso del agua, si bien no concreta –porque no puede hacerlo– ni recomienda el tipo o tipos de instrumentos y por tanto deja libertad a los estados miembros para su determinación. No obstante establece que estos instrumentos deben cumplir el principio genérico de la recuperación de los costes (costs recovery) de los servicios de aguas, suavizando versiones anteriores en la que se contemplaba la recuperación total de los costos (full-costs recovery).

Se entienden por servicios de aguas todos los que proporcionan para los hogares, instituciones públicas o cualquier actividad económica, la extracción, derivación, almacenamiento, tratamiento y distribución de agua; incluidos los servicios de saneamiento y depuración de aguas residuales necesarios para su descarga en las aguas superficiales¹. El principio de recuperación de costes se extiende a los costes medioambientales o del recurso asociados con los impactos negativos o daños en el medio ambiente para lo que se contempla expresamente el principio contaminador pagador.

Los Estados miembros están obligados a establecer antes del 2010 una política de precios de agua para incentivar el uso eficiente de la misma; para contribuir a los objetivos medioambientales y a una distribución “adecuada” entre los diferentes usuarios –hogares, industria y agricultura– para la recuperación de los costes, dejando abierta la puerta a excepcionar algún uso siempre que se justifique que no comprometa el propósito de alcanzar los objetivos establecidos. Los

planes de Distrito hidrográficos deberán informar sobre las medidas tomadas y las etapas establecidas para la completa aplicación de aplicación de este principio y su distribución en los usos.

El régimen económico y financiero de la Ley de aguas con las modificaciones introducidas en 1999 en el sentido de penalizar los consumos excesivos o los vertidos puede servir parcialmente de base a la nueva política de precios exigida, en el sentido en que también pretende la recuperación de los costos de los servicios de agua, al menos de los servicios de provisión en alta, pero serán precisas modificaciones muy profundas para que se produzca en la práctica el traslado de los costes de a los usuarios, toda vez que se está muy lejos de tal situación, y que esto se produzca con la transparencia exigida por la directiva.

El canon de regulación y la tarifa de utilización del agua pretenden, al menos en teoría, recuperar los costes de obtención y transporte de agua en alta a los usuarios; y con las modificaciones introducidas recientemente se pretende estimular un uso más eficiente del agua evitando consumos superiores a los técnicamente posibles, al penalizar los consumos más elevados, pero la realidad es que en su aplicación práctica se ha producido una escasa internalización de estos costes por parte de los usuarios y una muy escasa recuperación de los recursos financieros necesarios para la protección del dominio público hidráulico y para el mantenimiento y gestión de las infraestructuras hidráulicas.

Resulta evidente, y así se refleja en numerosos estudios, ni el canon de regulación ni la tarifa de utilización del agua han cumplido estos objetivos. Según la memoria del Plan Hidrológico Nacional (MOPT, 1992) y el Libro Blanco del Agua (MMA, 1997), la liquidación por estos conceptos es irrelevante en relación con los gastos de inversión del Estado en materia de obras de regulación y transporte –menos del quince por ciento–, y la recaudación apenas si alcanza al setenta por ciento de la liquidación, de tal manera que

(1) La descarga directa de vertidos a aguas subterráneas está expresamente prohibida como veremos más adelante. Ninguna referencia se hace de la aplicación de este principio a la contaminación difusa, al menos de forma expresa.

los recursos generados por esta vía “no llega a cubrir siquiera los costes de personal asignado a estas funciones” (PHN, 1992), y representan, el canon de regulación menos “del 0,2% del valor de la reposición de la infraestructura de regulación existente”, y la tarifa de utilización de agua menos del “0,5% del valor de reposición de los canales” (MMA, 1998).

Por otra parte, los usuarios que han obtenido el derecho al uso del agua, superficial o subterránea, sin mediar obras del Estado no están sujetos a estos cánones. Por lo que el régimen económico actual no afecta sustancialmente mas que a algo más de la tercera parte de los regadíos y menos del 50% de los abastecimientos urbano, por lo que en conjunto los efectos estimulantes para un uso eficiente del agua son prácticamente nulos.

El canon de vertido se configuró en la legislación española como un canon finalista para la financiación y explotación de obras de depuración y no como un canon que provocara la internalización del coste medioambiental y en consecuencia con capacidad de estímulo a las administraciones o a la iniciativa privada para reducirlo. El fracaso como canon finalista ha sido evidente, como consecuencia fundamentalmente de su diseño y facturación –según el libro blanco del agua 5 pts/m³ frente a un coste estimado de 100 pts/m³–; pero también porque en general no se mide el volumen y las características de los vertidos que se estiman frecuentemente de forma indirecta; porque buena parte de los vertidos no están sujetos a autorización; y por último por las graves dificultades para el cobro de las liquidaciones habida cuenta su coexistencia con otras tasas de vertidos impuestas por algunas comunidades autónomas. Es significativo que en aquellas comunidades autónomas en la que se dispone y se están ejecutando planes de depuración, la resistencia de los ayuntamientos al pago de las tasas o cánones establecidos por la Comunidad es menor, a pesar de que en todos los casos estas tasas son más realistas y claramente superiores al canon de vertidos.

El canon de vertidos de los organismos de cuenca

no debería tener en nuestra opinión y así parece indicarla la Directiva –aunque no exigirlo– la finalidad de recaudar recursos para la inversión en depuración sino convertirse en un instrumento para estimular a reducir los daños y basado en imputar al causante el daño ocasionado, manteniendo de esta forma el principio del pago por contaminación. Por otra parte, si la competencia en materia de inversiones y ayudas para el saneamiento y depuración de aguas residuales es de las administraciones locales y de las comunidades autónomas deberán ser estas quienes establezcan los sistemas de financiación de las inversiones para la ejecución de sus propios planes.

Instrumentos de regulación, autorización y control

Con estos instrumentos se pretende modificar las conductas de los agentes no por la vía del estímulo sino por la de “restringir el conjunto de acciones abiertas a los agentes, mediante la prohibición o limitación de las alternativas” (OCDE, 1994). Es el instrumento más extendido de la política medioambiental de los países industrializados, y para su aplicación la Directiva prevé un procedimiento mixto basado en la definición de estándares de calidad que deben cumplir las diferentes masas de agua de su territorio, coherentes con el objetivo de alcanzar el buen estado de las mismas y por otra la regulación para la imposición de limitaciones e incluso prohibiciones para la extracción o derivación de las aguas, y para las emisiones de vertidos puntuales o grupos de ellas, que deberán estar sujetas a autorización, registro y control.

Una vez definidos los criterios de referencia para la definición del alto estado ecológico y en consecuencia los objetivos de calidad ecológica, deberán establecerse los estándares de calidad de cada masa de agua bajo el principio del más exigente de cuantos se hayan establecido o establezcan en la legislación comunitaria o de los derivados de la Directiva.

Por otra parte, se prevé que la Comisión proponga una lista de agentes químicos contaminantes o grupos

de ellos que representen un riesgo significativo al o por vía del medio ambiente acuático, identificando las “sustancias prioritarias” y las “sustancias prioritarias peligrosas”, que será revisada cada cuatro años. Para las primeras, la Comisión propondrá asimismo estándares de calidad en términos de las concentraciones máximas de estas sustancias en el agua, sedimentos y biota; y en ausencia de acuerdo respecto a esta propuesta común los Estados miembros deberán establecer estándares de calidad medioambiental para estas sustancias en todas las aguas superficiales previsiblemente afectadas y controles en los principales fuentes de descarga basados entre otros en el criterio de “todas las opciones técnicas” para la reducción de emisiones.

Para todas las masas de agua subterránea se deberán fijar bien a propuesta de la comisión para el común de las aguas comunitarias, bien por los estados miembros en caso de no alcanzarse un acuerdo a nivel comunitario los criterios para evaluar el estado químico del agua; criterios para la identificación de las tendencias crecientes de los agentes contaminantes y para definir los contenidos máximos de estos a partir de los cuales deberá invertirse la tendencia. En ausencia de estos criterios se establece con carácter general que la inversión de la tendencia deberá producirse cuando se alcance el 75% del nivel de calidad estándar establecido en la legislación comunitaria aplicable.

Las medidas de control previstas son de dos tipos: las aplicadas a los usuarios que alcanza tanto a las cantidades de agua utilizadas como a la cuantía y tipo de vertidos, como los programas de vigilancia y control de las masas de agua para seguir la evolución del estado de calidad de las mismas.

Respecto a las primeras, los Estados miembros deberán establecer, en los programas de medidas de cada uno de los Distritos de cuenca controles sobre la extracción de aguas subterráneas y de derivación de las superficiales que deberán estar sujetas a un régimen de autorización previa y registro.

En relación con las aguas superficiales todos los vertidos directos o que puedan producir impacto por

vía difusa deben estar sujetos a regulación mediante autorización previa, registro y control. Los controles y autorizaciones de emisión deberán basarse en el criterio de la mejor técnica disponible y establecimiento de valores límite en el caso de los vertidos directos, o en el de la exigencia de las mejores prácticas ambientales en el caso de los posibles impactos por contaminación difusa. En el caso de las aguas subterráneas se deberá prohibir expresamente, porque así lo hace la Directiva, el vertido directo de agentes contaminantes a excepción de algunos casos muy específicos fundamentalmente en el sector minero, ingeniería civil, construcción o con propósitos científicos. Cuando en alguna masa de agua no se estén cumpliendo los objetivos o los estándares de calidad definidos previamente, todas las autorizaciones, registros y controles establecidos que afecten a la misma deberán ser revisados.

Además de los controles de vertidos, emisiones de agentes contaminantes y de las extracciones y derivaciones de agua, la Directiva exige la vigilancia y control de las masas de agua de acuerdo con una determinada metodología. Se prevé la constitución por los estados miembros de redes de vigilancia y control para las aguas superficiales, aguas subterráneas y áreas protegidas en cada Distrito de cuenca, de las que además se derivará una “red de intercalibración” en cada eco-región de la Comunidad para evaluar y comparar los resultados de los respectivos sistemas de vigilancia nacionales.

Las redes de vigilancia de las aguas superficiales deberán proveer información suficiente para la evaluación del estado ecológico y del estado químico. Se deberán establecer dos tipos de programas de control: el programa de vigilancia para todas las masas de agua y áreas protegidas y el programa operativo para aquellas masas de agua en que exista riesgo de incumplimiento de los objetivos y estándares de calidad exigidos.

El programa de vigilancia deberá controlar toda una serie de parámetros indicativos de los elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos, físico-quí-

micos y el contenido en agentes contaminantes, especialmente los calificados como “prioritarios” y deberá realizarse al menos una vez durante un año en el periodo de vigencia del Plan de Distrito de cuenca. Los programas operativos deberán controlar una los parámetros de calidad biológica e hidro-morfológica más sensibles a los impactos, todas las sustancias prioritarias vertidas y otros agentes contaminantes que se hayan encontrado en cantidades significativas. La frecuencia exigida para estos últimos programas es mayor que la del anterior y se recomienda entre una periodicidad mensual para las sustancias prioritarias hasta periodos mayores de un año para determinados elementos biológicos e hidromorfológicos.

Las redes de vigilancia y control de las aguas subterráneas deberán ser suficientes para la evaluación del estado cuantitativo incluyendo la estimación de los recursos disponibles, y del estado químico. Estas redes son similares a las de las aguas superficiales, debiendo establecerse asimismo un programa de vigilancia a largo plazo y programas operativos a corto plazo (al menos una vez al año) para las masas de agua en las que se haya detectado un significativo riesgo de incumplimiento de la obtención del objetivo buen estado.

Las áreas protegidas deberán ser tratadas como las aguas superficiales con riesgo de incumplimiento de objetivos y estarán incluidas en los programas de vigilancia y operativos. Dichos programas en su aplicación a estas áreas deberán permitir la evaluación del estado, el impacto de la actividad y las tendencias, de acuerdo con las directivas u otra legislación comunitaria que las designó como tales.

Resulta evidente que las redes actuales existentes en España y los programas de vigilancia son claramente insuficientes para el cumplimiento de lo exigido en la directiva. Aún sin tener en consideración estas nuevas exigencias de las redes y programas de vigilancia españoles la deficiencia de las redes y su gestión es expresamente reconocida por el Ministerio de Medio Ambiente al afirmar que *“las redes de calidad de las*

aguas existentes y la gestión de la información que en ellas se realiza no son adecuadas para obtener la información mínima necesaria y cumplir con la legislación mínima necesaria”. La red de vigilancia de calidad de las aguas superficiales existente (ICA) cubre sólo algunos tramos de ríos o embalses con usos concretos y es inexistente en el resto; las frecuencias de muestreo resultan insuficientes para llevar un control estadístico adecuado y el número de parámetros muestreados es insuficiente (MMA, 1998). Respecto a la red de control de calidad de las aguas subterráneas, implementada y gestionada por el Instituto Tecnológico Geominero, la misma fuente indica que ni siquiera responde a las *“exigencias de gestión demandadas por la incorporación de este recurso al dominio público”* y concretamente no detectan en la mayor parte de los casos la presencia de contaminantes como metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos, etc., presentando escasa y deficiente información incluso de la intrusión en los acuíferos costeros.

El esfuerzo exigido por la directiva exigirá no solo la ampliación cuantitativa y cualitativa de la red, aumentando el número de puntos de control, el número y categoría de los parámetros a medir y la frecuencia de las medidas, sino la gestión conjunta de todas las redes en cada Distrito de cuenca.

A modo de conclusión

La política de aguas comunitaria reflejada en la Directiva es claramente una política medioambiental y en consecuencia concibe la Administración hidráulica en forma radicalmente diferente a la concepción española. El papel de esta administración es estrictamente el de proteger la calidad de las aguas —para lo cual los problemas de cantidad son consustanciales. La administración no solo debe atender a los principios de unidad de acción en todas las aguas de las cuencas— incluidas las aguas costeras y a los de planificación, sino preocuparse por los efectos medioambientales en los ecosistemas derivados de las mismas. Las funcio-

nes exigidas a esta administración consisten básicamente en estudiar los diversos aspectos que pueden incidir en el impacto de la actividad humana en el agua y ecosistemas, establecer criterios y determinar objetivos o estándares de calidad exigibles, establecer medidas de estímulo, limitación y control de la actividad y vigilar la evolución del cumplimiento de estas medidas del impacto sobre la evolución de la calidad de las aguas; y todo ello desde la transparencia y propiciando la participación de todos los agentes interesados-usuarios o no usuarios.

Resulta dudoso que el esfuerzo exigido por esta política y esta nueva concepción pueda satisfacerse desde los actuales organismos de cuenca, si bien pueden ser el germen de la autoridad de los respectivos Distritos para lo que será necesario un cambio radical tanto en sus competencias, como en la estructura de los órganos para la toma de decisiones, en los medios y capacitaciones técnicas que deberán ser dotadas de un carácter claramente multidisciplinar, y en definitiva en un cambio de los objetivos, actitudes y funciones priorizadas tradicionalmente desde los mismos.

Bibliografía

- AGUILERA, F.: "Economía del agua: Reflexiones ante un nuevo contexto" en "La gestión del agua de riego". Rev. Economía y Naturaleza. Fundación Argentaria. 1997.
- BAUMOL, W y OATE, W.: The theory of environmental policy. Prentice-Hall. Inc. 1975; existe traducción española "La teoría de la política económica del medio ambiente". Ed. Antoni Bosch. 1982.
- CARLES, J.: "Economía y Política Hidráulica" en Planificación Hidráulica. Seminario Universidad Internacional Menéndez Pelayo. MOPTMA. 1992.
- CARLES, J.: "La Administración pública del agua" en "La gestión del agua de riego". Rev. Economía y Naturaleza. Fundación Argentaria. 1997.
- CARLES, J.: "Communautés et Sociétés d'irrigation de la méditerranée espagnole. Stratégies face aux prix de l'eau". Séminaire International sur Agriculture et Développement Durable en Méditerranée. Montpellier. Agropolis. 1997.
- CARLES GENOVÉS, J; AVELLÁ REUS, L; GARCÍA MOLLÁ, M.: "Precios, costos y uso del agua y en el regadío mediterráneo" en El Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Universidad de Zaragoza. Septiembre de 1998.
- LÓPEZ CAMACHO, B.: "La escasez de agua y el modo de abordarla: Nuevos abastecimientos versus 'Water conservation'" en La Economía del Agua en España. Fundación Argentaria-Visor dis. Madrid. 1997.
- OCDE. "Le principe pollueur-payeur. Analyse et Recommandations". OCDE. París. 1992.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE: "Libro blanco del agua en España". MMA. Madrid. 1998.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES: "Plan Hidrológico nacional. Memoria". MOPT. 1993.
- OCDE: "Managing the environment. The role of economics instruments". OCDE. París. 1994.
- OCDE: "Évaluer les instruments économiques des politiques de l'environnement". OCDE. París. 1997.
- PÉREZ, E.: "Legislación de aguas". Biblioteca de textos legales. Tecnos. 2000.
- SUMPSI, J.M., GARRIDO, A; BLANCO, M; VARELA, C.; e IGLESIAS, E.: "Economía y Políticas de Gestión del Agua en la agricultura". Mundi Prensa. Madrid. 1998.

Comunidades de usuarios de acuíferos sobreexplotados

► *Emilio Pérez Pérez*

Concepto legal de sobreexplotación

El art. 171.2 del RDPH establece que se considerará que un acuífero está sobreexplotado o en riesgo de estarlo cuando se esté poniendo en peligro inmediato la subsistencia de los aprovechamientos existentes en el mismo, como consecuencia de venirse realizando extracciones anuales superiores o muy próximas al volumen medio de los recursos anuales renovables, o que produzcan un deterioro grave de la calidad del agua. La existencia de riesgo de sobreexplotación se apreciará también cuando la cuantía de las extracciones, referida a los recursos renovables del acuífero, genere una evolución de éste que ponga en peligro la subsistencia a largo plazo de sus aprovechamientos.

En este precepto no parece pretenderse definir lo que sea sobreexplotación o riesgo de sobreexplotación, sino dar una noción indicativa que pueda servir de pauta para la actuación administrativa. En el primer párrafo se toma en consideración, con un enunciado alternativo, el acuífero que está sobreexplotado o en riesgo de estarlo, mientras en el segundo se aprecia únicamente lo que puede ser también riesgo de sobre-

explotación; lo fundamental en este precepto asistemático y puramente descriptivo es la relación que se establece entre las extracciones y los recursos renovables, entendiendo que hay sobreexplotación o riesgo de sobreexplotación si las primeras son superiores o muy próximas al volumen medio de los segundos o si aquéllas, con referencia a éstos, generan una evolución del acuífero que ponga en peligro la subsistencia a largo plazo de sus aprovechamientos. Estas mismas ideas podemos verlas recogidas por la doctrina; así ocurre, por ejemplo, con la noción de sobreexplotación dada por CASTANY y MARGAT en su Diccionario de Hidrogeología (1971): “*la explotación de cantidades excesivas de agua subterránea, en relación con una norma fijada al respecto, en función de diversas limitaciones y, particularmente, en relación con el caudal de producción asegurado y ligado a la conservación del equilibrio a más o menos largo plazo*”.

Procedimiento y efectos de la declaración de sobreexplotación

El procedimiento de la declaración de sobreexplo-

tación del acuífero se iniciará –dice el art. 171.3 del RDPH– por la Junta de Gobierno del Organismo de cuenca, de oficio, a instancia de la comunidad de usuarios del acuífero, si la hubiera, o de usuarios que acrediten estar utilizando legalmente, al menos, la mitad de los volúmenes extraídos anualmente. El Organismo de cuenca elaborará un estudio sobre la situación del acuífero en el que se justifique, en su caso, la procedencia de la declaración; para ello deberá solicitar informe al Instituto Geológico y Minero de España. A la vista del estudio y, en su caso, del citado informe, y oído el Consejo del Agua, la Junta de Gobierno resolverá expresa y motivadamente sobre la declaración provisional de acuíferos sobreexplotados o en riesgo de estarlo.

Medidas cautelares

Se pueden distinguir dos fases en este procedimiento de declaración de sobreexplotación de un acuífero. En la 1ª. fase, de declaración provisional de sobreexplotación, esta declaración señalará el perímetro de la zona afectada y llevará aparejada, dentro de su ámbito, los siguientes efectos previstos en el art. 171.4 del RDPH:

1º. Paralización de todos los expedientes de autorización de investigación o de concesión de aguas subterráneas.

2º. Suspensión del derecho de apertura de nuevas captaciones establecido en el art. 52.2 de la L. a. (aprovechamientos de aguas subterráneas cuyo volumen total anual no sobrepasa los 7.000 m³). Este tipo de uso queda sometido, durante la vigencia de la situación de sobreexplotación, al régimen de autorización que se haya establecido expresamente en la declaración.

3º. Paralización de todos los expedientes en trámite de modificación de características de las concesiones de aguas subterráneas.

4º. Constitución forzosa de la comunidad de usuarios del acuífero, si no estuviese ya constituida (por aplicación del art. 79 de L. a. que obliga a constituir

esta comunidad a requerimiento de la Confederación Hidrográfica).

A estos efectos añade el nuevo art. 54 de la L. a. el de que, hasta la aprobación del Plan, el Organismo de cuenca podrá establecer las limitaciones de extracción que sean necesarias como medida preventiva y cautelar.

Otra medida cautelar importante es la establecida en la primera de las dos disposiciones excepcionales relativas a los acuíferos sobreexplotados de la Disposición Adicional Segunda de la Ley 46/1999: en los acuíferos declarados sobreexplotados o en riesgo de estarlo, se podrán otorgar concesiones de aguas subterráneas que permitan la extracción del recurso sólo en circunstancias de sequía previamente constatadas por la Junta de Gobierno del Organismo de cuenca y de acuerdo con el Plan de ordenación para la recuperación del acuífero.

Constitución forzosa de la Comunidad de Usuarios

El artículo 79 antiguo de la Ley de Aguas de 1985 decía que los usuarios de una misma unidad hidrogeológica o de un mismo acuífero estarán obligados, a requerimiento del Organismo de cuenca, a constituir una Comunidad de Usuarios, correspondiendo a dicho Organismo, a instancia de parte o de oficio, determinar sus límites y establecer el sistema de utilización conjunta de las aguas.

Y el artículo 79 nuevo de la Ley de Aguas de 1985 (texto de la Ley 46/1999) dice lo siguiente: 1. Los usuarios de una misma unidad hidrogeológica o de un mismo acuífero estarán obligados, a requerimiento del Organismo de cuenca, a constituir una Comunidad de Usuarios, correspondiendo a dicho organismo, a instancia de parte o de oficio, determinar sus límites y establecer el sistema de utilización conjunta de las aguas. 2. En los acuíferos declarados sobreexplotados o en riesgo de estarlo en aplicación del apartado 1 del artículo 54 de esta Ley, será obligatoria la constitución de una Comunidad de Usuarios. Si transcurridos seis

meses desde la fecha de la declaración de sobreexplotación no se hubiese constituido la Comunidad de Usuarios, el Organismo de cuenca la constituirá de oficio, o encomendará sus funciones con carácter temporal a un órgano representativo de los intereses concurrentes.

El nuevo art. 79.3 establece que los Organismos de cuenca podrán celebrar convenios con las Comunidades de Usuarios de aguas subterráneas, al objeto de establecer la colaboración de éstas en las funciones de control efectivo del régimen de explotación y respeto a los derechos sobre las aguas. En estos convenios podrá preverse, entre otras cosas, la sustitución de las captaciones de aguas subterráneas preexistentes por captaciones comunitarias, así como el apoyo económico y técnico del Organismo de cuenca a la Comunidad de Usuarios para el cumplimiento de los términos del convenio.

El artículo 80 de la L. a, que no ha sufrido modificación alguna, establece que *“el Organismo de cuenca podrá obligar a la constitución de Comunidades que tengan por objeto el aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas, cuando así lo aconseje la mejor utilización de los recursos de una misma zona”*.

La principal novedad de la reforma de 1999 de la Ley de Aguas radica en que *“si transcurridos seis meses desde la fecha de la declaración de sobreexplotación no se hubiese constituido la Comunidad de Usuarios, el Organismo de cuenca la constituirá de oficio, o encomendará sus funciones con carácter temporal a un Órgano representativo de los intereses concurrentes”*.

También es destacable que el nuevo art. 26 de la L. a. ha atribuido a las Juntas de Gobierno de las Confederaciones Hidrográficas la función de *“adoptar las decisiones sobre comunidades de usuarios a las que se refieren los artículos 73.4 (imponer la constitución de los distintos tipos de Comunidades y Juntas Centrales de Usuarios, cuando el interés general lo exija) y 74.4 (establecer las ordenanzas que considere procedentes,*

previo dictamen del Consejo de Estado, en el caso de que las comunidades no las presenten en el plazo a que estén obligadas)”. Y el art. 228.3 del RDPH dispone que *“cuando sin causa justificada, no se diera cumplimiento al requerimiento del Organismo para la constitución de las Comunidades de usuarios exigidas en los arts. 79 y 80 de la Ley, cualquiera que sea el tipo de comunidad, podrá dicho Organismo, sin perjuicio de aplicar el procedimiento sancionador, convocar y presidir las Juntas Generales, redactar de oficio los Estatutos y proceder a su aprobación, con dictamen del Consejo de Estado si la Junta General no hubiera llegado a ninguna decisión”*.

Elaboración del Plan de Ordenación

A) Normas de elaboración

El art. 54.1 de la Ley de Aguas de 1985 (texto de la Ley 46/1999), después de decir que el Organismo de cuenca competente, oído el Consejo del Agua, podrá declarar que los recursos hidráulicos subterráneos de una zona están sobreexplotados o en riesgo de estarlo, dispone que *“en estas zonas el Organismo de cuenca, de oficio o a propuesta de la Comunidad de Usuarios u órgano que la sustituya, conforme al apartado 2 del artículo 79, aprobará, en el plazo máximo de dos años desde la declaración, un Plan de ordenación para la recuperación del acuífero o unidad hidrogeológica”*. Y, como hemos visto, hasta la aprobación del Plan, el Organismo de cuenca podrá establecer las limitaciones de extracción que sean necesarias como medida preventiva y cautelar.

El referido Plan ordenará el régimen de extracciones para lograr una explotación racional de los recursos y podrá establecer la sustitución de las captaciones individuales preexistentes por captaciones comunitarias, transformándose, en su caso, los títulos individuales con sus derechos inherentes, en uno colectivo que deberá ajustarse a lo dispuesto en el Plan de ordenación.

El Organismo de cuenca –dice el art. 171.5 del RDPH–, oída la comunidad de usuarios del acuífero, elaborará un plan de ordenación de las extracciones en orden a conseguir la superación de los problemas planteados. Este plan será sometido a información pública y a dictamen del Consejo del Agua de la cuenca.

La Junta de Gobierno –añade el apartado 6 del repetido art. 171 del RDPH– aprobará, en su caso, el plan de ordenación, lo que supondrá la declaración definitiva de sobreexplotación del acuífero. Esta declaración implicará la ejecutividad inmediata del plan y producirá los siguientes efectos:

1º) La revisión del Plan Hidrológico de cuenca, si existiera, en lo concerniente a la zona sobreexplotada. Los planes hidrológicos posteriores a dicha declaración definitiva deberán contener indicación expresa sobre su subsistencia o modificación (art. 171.7 RDPH).

2º) La posibilidad de imponer, con carácter general, la instalación de aparatos de medida a la salida de las captaciones, para el control adecuado de las extracciones de aguas subterráneas (art. 171.8,1 RDPH).

B) Medidas posibles a adoptar en el Plan de ordenación del acuífero sobreexplotado

VICENTE DOMINGO, R. de, en “Regímenes especiales de explotación, sobreexplotación y salinización de las aguas subterráneas”, R.E.D.A., 1989, pág. 580, señala, de modo indicativo, las siguientes posibles determinaciones de un plan de ordenación de las extracciones: determinación de los puntos de perforación y extracción; régimen de distancias entre los puntos de perforación; señalamiento de zonas de protección con prohibición de sondeos y perforaciones; determinación del perímetro del plan; normas para la transformación de los sistemas de riego tradicionales por otros menos consuntivos (goteo, aspersión, etc.); normas para la sustitución de cultivos con mayor dotación de agua por hectárea por otros de menor consumo; infraestructuras básicas requeridas por el plan;

normas sobre proyección y ejecución de captaciones; normas sobre construcción, acabado, conservación y abandono de pozos y otros tipos de captaciones; red de conducción y distribución; modos de explotación de las extracciones; medidas para la recuperación natural y, en su caso, artificial (recarga de acuíferos) del medio subterráneo; medidas para el control de los caudales extraídos; medidas limitativas de los volúmenes otorgados y bases compensatorias entre los usuarios; y reubicación especial de los aprovechamientos existentes en caso de salinización.

Por su parte, AGUILERA KLINK, F., en “El agua como recurso de propiedad común: una perspectiva económica”, Estudios Regionales, nº 20 (1988), pág. 24, expone algunas medidas, de carácter general, para corregir los problemas de gestión de las aguas; entre ellas, pueden tener interés para remediar los problemas de sobreexplotación, estableciéndolas en los planes de ordenación, las siguientes: aplicación de un impuesto sobre la extracción del recurso, puesto que se trata de un caso típico de divergencia entre costes privados y costes sociales y la corrección de esta divergencia se podría conseguir mediante la aplicación de este impuesto que desincentivaría el uso del recurso; explotación mancomunada del recurso, estableciendo el control unificado de la extracción, mediante la asignación de cuotas de producción a cada propietario que haría desaparecer la vaguedad de los derechos de propiedad; e intervención gubernamental, con imposición obligatoria de cuotas si no hay acuerdo para la explotación mancomunada, y con control del cumplimiento de las cuotas asignadas.

C) Consecuencias jurídicas del cumplimiento del Plan de ordenación de un acuífero sobreexplotado

El mantener criterios de simple respeto de las distancias árticas entre dos sondeos concretos y de la visión de los veneros o vetas de aguas subterráneas (verdaderas corrientes o ríos subterráneos) en lugar de la evidencia de la existencia de grandes o pequeños

embalses formados en el subsuelo en edades geológicas, ha llevado, entre otros efectos especialmente preocupantes desde una simple perspectiva jurídica, al *“inicio de una línea jurisprudencial que “blinda” las titularidades de aguas subterráneas privadas, impidiendo de hecho, dado el montante de las indemnizaciones, que les sea aplicable el régimen de sobreexplotación de acuíferos, lo que creaba una línea divisoria entre los titulares de aguas privadas y los concesionarios de aguas públicas, distinción que, ni estaba prevista en la ley, ni se sostiene desde el prisma de la función social a que la propiedad está supraordenada, ni especialmente se compadece con el fin que persigue el establecimiento de estas medidas, que no es otro que el preservar la existencia misma del acuífero, incluyendo por tanto las titularidades de aguas privadas”*. Este es el comentario a las Sentencias del Tribunal Supremo de 30 de enero y de 14 de mayo de 1996, de BARRIOBERO MARTÍNEZ. El criterio mantenido en estas sentencias no podía ser aceptado porque olvidaba algo fundamental, como es la consideración de las aguas como un recurso unitario, integrado en el ciclo hidrológico. Esto ya fue afirmado, en su voto particular a la sentencia de 14 de mayo de 1996, por el Magistrado señor Peces Morate. En el mismo sentido, añade el Profesor Barriobero, en su comentario, que *“las aguas subterráneas son físicamente unas mismas aguas, independientemente de la calificación jurídica, pública o privada, que se les aplique. Enlazando con esta idea hay que tener en cuenta otro dato fundamental: los acuíferos son grandes depósitos de aguas subterráneas que se recargan, básicamente, gracias a las aportaciones de las aguas superficiales que se infiltran en el subsuelo, por lo que, dado que la situación de sobreexplotación se origina porque el volumen anual de extracciones es superior a la cantidad de agua que en el mismo período recibe como recarga un acuífero, parece claro que cuando la Administración establece unas medidas frente a una situación de sobreexplotación, lo hace con el fin de proteger la existencia del acuífero mismo (incluidas, por tanto las*

titularidades privadas, dato que creo fundamental), existencia que se vería fuertemente comprometida si tales medidas no fuesen adoptadas. Si atendemos a esta serie de consideraciones, parece perfectamente comprensible que las medidas que se adoptan ante una situación de sobreexplotación sean vinculantes tanto para los concesionarios de aguas públicas como para los titulares de aguas privadas, pues en caso contrario la actuación de la Administración carecería de toda virtualidad práctica”.

La interpretación que del artículo 53 de la Ley de Aguas de 1985 llevaba a cabo el Tribunal Supremo es totalmente desafortunada, porque la indemnización prevista en el artículo 53 de la L. a. está pensada para cuando la limitación en el uso del dominio público hidráulico ocasione una modificación de caudales que genere perjuicios a unos aprovechamientos en favor de otros, mientras en los supuestos a que se refieren las Sentencias de 30 de enero y 14 de mayo de 1996 no se suspenden las extracciones de aguas subterráneas que realizan unos usuarios para favorecer a otros sino que se suspenden las extracciones que llevan a cabo todos los usuarios de la zona. Esta consideración también fue hecha por el Magistrado señor Peces Morate en su voto particular, afirmando que *“no existe equivalencia o paralelismo alguno entre el supuesto contemplado en el artículo 53.2 y el previsto en el artículo 56 de la L. a.”*. Además, como añade el Profesor Barriobero en su comentario, en el caso de que existiese obligación indemnizatoria al amparo del art. 53 de la L. a., ésta no recaería sobre la Administración sino sobre los titulares beneficiados, correspondiendo al Organismo de cuenca, en defecto de acuerdo entre las partes, la determinación de su cuantía.

Afortunadamente el Tribunal Supremo ha cambiado de criterio en la Sentencia de 18 de marzo de 1999. Expresamente se aparta el TS de la doctrina de las dos anteriores, siguiendo ahora el criterio del voto particular del Magistrado Sr. Pérez Morate y manteniendo que *“no cabe sostener paralelismo alguno entre el supuesto del artículo 53.2 y el regulado en el artículo*

56, ambos de la Ley de Aguas, ya que éste se refiere a circunstancias extraordinarias de sequías, sobreexplotación de acuíferos y similares estados de necesidad, en que no se perjudica a unos titulares de aprovechamientos en beneficio de otros sino que se establecen medidas de carácter general afectantes a todos los que se encuentren en tales circunstancias, y éstas fueron las medidas acordadas por el Consejo de Ministros en relación con el acuífero del Campo de Montiel, sin que supusiesen modificación de caudales en beneficio de unos y perjuicio de otros titulares”.

En todo caso, para que no quepa ninguna duda, la Disposición adicional segunda de la Ley 46/1999 ha recogido ya expresamente, en el nº 2 de la misma, la sujeción de las aguas privadas a las restricciones derivadas del Plan de Ordenación para la recuperación del acuífero, sin derecho a indemnización. Así dice esta disposición que los derechos de aprovechamiento del artículo 52.2 y los derechos sobre aguas privadas a que se refiere la Disposición Transitoria Tercera de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, estarán sujetos a las restricciones derivadas del Plan de ordenación para la recuperación del acuífero o las limitaciones que, en su caso, se establezcan en aplicación del artículo 56, en los mismos términos previstos para los concesionarios de aguas, sin derecho a indemnización.

Constitución de la Junta de Explotación

El art. 171, 3º del RDPH ordena la constitución de una Junta de Explotación para el control de la ejecución del Plan. Esta Junta elaborará un informe anual sobre la marcha del Plan, con las propuestas de modificación que estime procedentes. La Junta de Gobierno del Organismo de cuenca podrá acordar dichas modificaciones, con el informe de la comunidad de usuarios (art. 171.8, 2§ del RDPH).

El párrafo 3º del artículo 30 de la L. a. dispone que se promoverá la constitución de Juntas de Explotación Conjunta de aguas superficiales y subterráneas en

todos los casos en que los aprovechamientos de unas y otras aguas estén claramente interrelacionados.

En la Junta de Explotación participarán mayoritariamente, con relación a sus respectivos intereses en el uso del agua y al servicio prestado a la comunidad, los diferentes usuarios del acuífero. Además de las funciones legales y generales de las Juntas de Explotación, la de un acuífero sobreexplotado tiene otras concretas, consistentes en el control de la ejecución del Plan de ordenación de las extracciones y en elaborar un informe anual sobre la marcha del Plan, con las propuestas de modificación que estime procedentes; puede convenir también atribuirle algunas específicas, como la de informar los expedientes de nuevas autorizaciones o concesiones, ejecutar la modulación de las tomas y elaborar programas de obras para mejorar la explotación del acuífero.

A la terminación del plazo establecido para la ejecución del Plan de Ordenación cabe una doble posibilidad con los consiguientes efectos:

1º) La primera posibilidad es la consecución de los objetivos fijados en el Plan. En tal caso se adaptarán las ordenanzas de la comunidad al régimen alcanzado de explotación del acuífero (art. 171.9, 1 RDPH).

2º) La segunda posibilidad es la de que no se hayan conseguido los objetivos fijados en el plan. En tal caso la Junta de Gobierno de la Confederación Hidrográfica deberá acordar prórrogas bianuales del Plan, con las modificaciones que estime oportunas (art. 171.9, 2§ RDPH).

Posibilidad de constitución de comunidades de usuarios de aguas subterráneas privadas

El Dictamen del Consejo de Estado nº 2863/95/Id, de 11 de abril de 1996, se refiere a esta posibilidad de constitución de comunidades de regantes con aguas privadas.

Al Consejo de Estado se le sometió a consulta el asunto de solicitud de una agrupación concreta de regantes de aguas subterráneas privadas para consti-

tuirse en “comunidad de regantes”, de tal forma que la cuestión se centró en determinar la procedencia o no de la constitución como Comunidad de Regantes del colectivo solicitante y, consiguientemente, de la aprobación o no de sus Estatutos.

Antecedentes

Los aprovechamientos hidráulicos de la Comunidad en trámites de constitución fueron inscritos en el Catálogo de Aprovechamientos de Aguas Privadas figurando como titular dicha Comunidad, pero, con posterioridad, el Servicio de Régimen de Usuarios de la Comisaría de Aguas informó que no procedía la constitución de la Comunidad de Regantes respecto de aguas enteramente privadas. El Servicio Jurídico del Estado emitió informe manifestando su conformidad con el parecer expresado por la Confederación Hidrográfica, si bien agregó que resultaba conveniente recabar informe de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

La Subdirección General del Dominio Público Hidráulico informó en el sentido de que *“las Comunidades de Regantes a que se refiere la Ley de Aguas están constituidas por titulares de concesiones de aguas públicas, salvo en los casos previstos en el apartado 4 de la disposición transitoria 3ª, en los que, por ser de aplicación a los aprovechamientos de aguas privadas las disposiciones de la Ley, resulta obligatoria la integración en las Comunidades de Usuarios”*.

El Servicio Jurídico del Estado en el Departamento Ministerial y la Dirección General de Calidad de las Aguas manifestaron su conformidad con la propuesta de la Subdirección General del Dominio Público Hidráulico, resolviendo, en consecuencia, dicha Dirección General, en sentido denegatorio, sobre la constitución concreta de la comunidad de regantes solicitada y fundamentando su criterio en el mismo —ya expuesto— de la Subdirección General citada, reiterando y complementando a este respecto que *“los aprovechamientos de aguas subterráneas calificadas como pri-*

vadas por la legislación anterior a la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, y que no han sido inscritos en el Registro de Aguas como aprovechamientos temporales de aguas privadas, únicamente pueden estar integradas en Comunidades de Regantes cuando la propia Ley establezca la obligatoriedad de las Comunidades, en preceptos que, de acuerdo con el apartado 4 de la disposición transitoria tercera, son de aplicación a dichos aprovechamientos”.

Surgió discrepancia entre el Servicio de Régimen de Usuarios y el Servicio Jurídico del Estado sobre si era preceptivo el dictamen previo del Consejo de Estado para la denegación de la aprobación de los Estatutos u Ordenanzas y Reglamento de la Comunidad y, tal como proponía el Servicio Jurídico del Estado, la Comisaría de Aguas remitió las actuaciones a la Dirección General de Calidad de las Aguas para su envío al Consejo de Estado, lo que se realizó después de que el Consejo de Obras Públicas y Urbanismo y el Servicio Jurídico del Estado en el Departamento hubieran expresado su parecer coincidente y su conformidad con la propuesta denegatoria.

Consideraciones del Consejo de Estado

Después de referirse a la declaración de dominio público de todas las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas renovables con independencia del tiempo de renovación (art. 2º) y a los efectos que se derivan de la aplicación de las disposiciones transitorias 2ª y 3ª de la propia Ley, así como a los precedentes de la regulación actual de las comunidades de usuarios, el Consejo de Estado analiza los arts. 73.1 de la Ley de Aguas y 198 del RDPH, así como los arts. 74.2, 77 y 78 de la L. a. y 199.2 del RDPH, para deducir de todos ellos, así como de otros muchos preceptos de la Ley de Aguas y de su Reglamento, que parece inferirse la voluntad del legislador consistente en circunscribir la exigencia de constituirse en comunidad de regantes exclusivamente a los usuarios de aguas públicas.

Por otra parte, añade el Consejo de Estado, esta solución vendría avalada por la propia naturaleza jurídica de las comunidades de regantes en el Derecho patrio que, aunque no esté exenta de polémica en la doctrina de los tratadistas, fue ya proclamada por la jurisprudencia y ha sido objeto de recepción en la vigente Ley de Aguas, que, en su art. 74 establece expresamente que las Comunidades de Usuarios son Corporaciones de Derecho Público, adscritas al Organismo de cuenca. Desarrolla el Consejo de Estado las características y efectos que derivan de esta naturaleza de Corporaciones de Derecho Pública y añade, entre otras consideraciones, la de que *“la configuración de las Comunidades de Regantes como Corporaciones de Derecho Público con base sectorial privada combinan la personificación pública con el sustrato privado, toda vez que hacen valer tanto intereses privados como el desempeño de funciones públicas...”*.

Los razonamientos jurídicos expuestos conducen al Consejo de Estado a expresar su parecer coincidente con el sustentado por los órganos preinformantes en el sentido de afirmar la improcedencia de constituir Comunidades de Regantes que tengan por objeto el aprovechamiento de aguas privadas, añadiendo que ello no empece que cualquier colectivo de regantes, usuarios de aguas privadas, puedan agruparse bajo cualquier otra forma asociativa propia del Derecho Privado, como pueden ser las asociaciones o las sociedades civiles, así como constituir comunidades de bienes con arreglo al régimen instituido en los arts. 392 y ss. del Cc., y que es obvio que la agrupación de regantes solicitante tiene acceso al Catálogo de Aprovechamientos de Aguas Privadas del Organismo de cuenca, quedando sujetos a las condiciones y limitaciones previstas en la Ley de Aguas y su Reglamento en materia de régimen de explotación de acuíferos, afectación a destino previsto, superficie regable, uso conforme al régimen de sobreexplotación, en su caso, comunicación del cambio de titularidad, autorizaciones y permisos necesarios, etc. También estima el Consejo de Estado que deberá procederse a la rectifi-

cación del asiento registral de inscripción practicado en el Catálogo, habida cuenta que su inscripción se hizo consignando como titular a la Comunidad de Regantes, debiendo figurar los aprovechamientos como titularidades individualizadas o como comunidad de bienes constituida con arreglo al ordenamiento civil.

El Consejo de Estado admite la constitución de comunidades de regantes de aguas privadas en acuíferos sobreexplotados y la legislación de aguas la impone

Expresamente manifiesta el Consejo de Estado su parecer coincidente con el sustentado por los órganos preinformantes que ha sido subrayado en los apartados anteriores y que, como hemos visto, consiste en admitir la constitución de comunidades de regantes con aguas privadas si se trata de aguas procedentes de un acuífero sobreexplotado.

En todo caso, y con el mayor respeto a las opiniones del Alto Consejo Consultivo del Estado y de los Centros Directivos de la Administración del Estado, quisiera hacer algún comentario a la opinión mantenida por todos ellos de que, en los demás supuestos, lo que procede es que el colectivo correspondiente se organice como asociación o sociedad civil o bien constituya una comunidad de bienes de las reguladas en los arts. 392 y ss. del Cc. Aparte de que la figura de la asociación, por no poder tener finalidad lucrativa, no parece adecuada para regular las relaciones entre los componentes de un colectivo de regantes, y de que la sociedad civil no parece ser solución deseada por los regantes porque implicaría la pérdida de la titularidad de las fincas regables (sustituida por participaciones o cuotas sociales) si la entidad pasara a ser propietaria de parcelas y pozos (que, conjuntamente, constituyen el regadío) o la participación de los mismos regantes únicamente en la titularidad del pozo, dividida en cuotas, sin integración alguna en la sociedad de las fincas de cada uno, la solución de la comunidad de bienes del

Cc. encierra, en realidad, la constitución de una verdadera comunidad de regantes aunque esta comunidad carezca de personalidad jurídica y, por supuesto, del carácter de Corporación de Derecho Público.

Y es que el concepto de comunidad de bienes del Código civil es mucho más amplio que el de otros Códigos, de forma que, sobre la base del apartado 2º del art. 392, del 394, del 398 (que, expresamente se refiere a “*los intereses que constituyan el objeto de la comunidad*”) y de otros preceptos concordantes del propio Código y de otras disposiciones legales, no cabe duda de que nuestro Derecho admite la existencia de lo que deben denominarse comunidades de intereses de estructura consorcial, es decir unas comunidades cuyo objeto es el interés de establecer en riego una zona, de modo que ese interés común se refiere al conjunto de los aprovechamientos de aguas subterráneas y de las fincas a las que están adscritos los aprovechamientos de agua; mejor todavía, el aprovechamiento en realidad está constituido por el agua que puede utilizar cada copropietario del pozo y la finca a que se destina la cuota de participación en el condominio del pozo, único bien sobre el que existe en realidad una comunidad de bienes en sentido propio, una copropiedad ordinaria o de origen romano. Por eso tiene pleno sentido que las comunidades de bienes constituidas en escritura pública para el aprovechamiento de numerosos pozos se autodenominen “*comunidades de regantes*”, porque en su estructura interna son totalmente análogas a las comunidades de regantes reguladas por la legislación de aguas, faltándoles únicamente la personalidad jurídica derivada del carácter de Corporaciones de Derecho Público que la Ley reconoce a las segundas, no debiendo haber inconveniente alguno en que este carácter se reconozca también a las entidades a que nos venimos refiriendo, como lo hace con las constituidas por convenio (normalmente de menos de 20 regantes o de 200 has).

En todo caso, lo que no ofrece duda alguna es que esa constitución no sólo puede sino que debe llevarse a cabo cuando se trata de regantes que disfrutan de

aprovechamientos individuales o comunes que extraen sus recursos hídricos de acuíferos sobreexplotados, porque así lo impone la legislación vigente, tal como pasamos a exponer.

Imposición legal de constitución de comunidades de regantes con aguas privadas procedentes de acuíferos sobreexplotados

a) Disposiciones transitorias 2ª, 3ª y 4ª de la Ley de Aguas Estatal.

La Disposición transitoria 1ª, 3 de la Ley de Aguas vigente establece, como norma introductoria de lo dispuesto en las tres disposiciones transitorias siguientes, que “*los actuales titulares de aprovechamientos de aguas, por cualquier otro concepto distinto de los anteriores, conservarán el derecho a la utilización del recurso de acuerdo con lo que se establece en las disposiciones siguientes*”.

1º) Las titularidades de aprovechamiento de aguas privadas anteriores a la Ley de Aguas y la opción de inscripción en el Registro de Aguas o en el Catálogo.

Las disposiciones transitorias segunda y tercera de la Ley de Aguas son casi idénticas, referidas respectivamente a las aguas de manantial y a las de pozos o galerías. Según estas disposiciones, los titulares de algún derecho, conforme a la legislación que se derogó por la Ley de 1985, sobre aguas privadas procedentes de manantiales que vinieren utilizándose en todo o en parte, o procedentes de pozos o galerías en explotación, pudieron acreditarlo en el plazo de tres años, a partir de la entrada en vigor de la Ley (o sea, hasta el 1 de enero de 1989), para su inscripción en el Registro de Aguas como aprovechamiento temporal de aguas privadas; en tal caso continuaba el régimen de explotación de los caudales realmente utilizados, por un plazo máximo de 50 años y, además, tendrán derecho preferente (quienes, al término de dicho plazo, se encuentren utilizando los caudales en virtud de título legítimo) para la obtención de la correspondiente con-

cesión administrativa, de conformidad con lo previsto en la propia Ley.

Transcurrido ese plazo de tres años, quien no hubiere ejercido esa opción de inscripción en el Registro de Aguas, mantendrá su titularidad en la misma forma en que la ostentaba el 1 de enero de 1986, fecha de entrada en vigor de la L. a. Dentro de ese mismo plazo de tres años, si no optó por inscribir su derecho en el Registro de Aguas, tenía que haberlo declarado en el Catálogo de Aprovechamientos de Aguas Privadas, pero para cumplir un deber puramente administrativo, cuyo incumplimiento no afecta al contenido sustantivo de su derecho.

Las normas comunes a las dos alternativas —que venimos considerando— de inscripción en el Registro de Aguas o inclusión en el Catálogo de Aprovechamientos de las privadas, son las de los apartados 3 y 4 de las disposiciones transitorias 2ª y 3ª. El primero se refiere expresamente a cualquiera de los supuestos anteriores (o sea, los de la opción que venimos analizando), exigiendo la concesión que ampare la totalidad de la explotación siempre que se pretenda un incremento de los caudales totales utilizados o se modifiquen las condiciones o régimen del aprovechamiento. El apartado 4 dispone que en todo caso, a los aprovechamientos de aguas a que se refiere esta disposición transitoria (por tanto también los de las dos alternativas), les serán aplicables las normas que regulan la sobreexplotación de acuíferos, los usos del agua en caso de sequía grave o de urgente necesidad y, en general, las relativas a las limitaciones del uso del dominio público hidráulico.

Las limitaciones y restricciones derivadas de la declaración de sobreexplotación de acuíferos aparecen reguladas fundamentalmente en el artículo 171 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico. De las demás limitaciones del uso del dominio público hidráulico que, incluso en las situaciones normales de explotación de un acuífero, se aplican a todo tipo de aprovechamientos y, consiguientemente, a los de las aguas subterráneas procedentes de situaciones anterior-

res a la vigencia de la nueva Ley, cualquiera que sea la opción de sus titulares, es destacable la del art. 53,1 de la L. a., reproducido y completado por el art. 90 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que permite una amplia intervención de la Administración Pública del Agua, fijando las limitaciones o restricciones adecuadas, al determinar el régimen de explotación de los acuíferos subterráneos al que habrá de adaptarse la utilización coordinada de los aprovechamientos existentes, cuando así lo exija la disponibilidad del recurso.

2º) Régimen de los antiguos aprovechamientos de aguas privadas inscritos en el Registro de Aguas.

Los titulares de estos aprovechamientos gozarán de la protección administrativa que se deriva de la inscripción en el Registro de Aguas y, consiguientemente, los conflictos que se planteen entre ellos o con terceros que mantengan una antigua titularidad privada perpetua o indefinida o una nueva titularidad concesional, tendrán que resolverse en vía administrativa, por la Administración Pública del Agua, pasando, en su caso, a la jurisdicción contencioso-administrativa.

Será de aplicación a estos supuestos lo establecido en el artículo 72,3 de la Ley, al decir que los titulares de concesiones de aguas inscritas en el Registro podrán interesar la intervención del Organismo de cuenca competente en defensa de sus derechos y, si el problema planteado es de afección, deberá resolverse conforme a los criterios establecidos en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico para las nuevas concesiones de aguas subterráneas, fundamentalmente en el artículo 184, apartados 6 y siguientes.

Estas titularidades temporales privadas vienen a configurarse en la Ley de Aguas como situaciones intermedias o mixtas, pues tienen un contenido económico privado (dado que se mantiene el régimen de explotación durante cincuenta años y, consiguientemente, el titular se podrá beneficiar económicamente del precio percibido por el aprovechamiento de terceros) pero están llamadas a convertirse en concesiones

administrativas al término de dicho plazo. Si, como puede muy bien ocurrir, esta conversión en concesión se anticipase, tramitándose antes del transcurso de los 50 años, por resultar antes necesario o conveniente modificar las condiciones o el régimen del aprovechamiento (que es uno de los supuestos del apartado 3 de las disposiciones transitorias 2ª y 3ª), parece lógico que, tanto por la protección administrativa de que gozan estas titularidades temporales, como por la preferencia que se otorga, para obtener la concesión administrativa, al cabo de 50 años de aprovechamiento temporal privado, a quienes en ese momento se encuentren utilizando los caudales en virtud de título legítimo, esa otra conversión anticipada en concesión a que me refería deberá sustanciarse como un supuesto de modificación en concesión y, conforme a lo establecido en el art. 188 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, por el procedimiento correspondiente a concesiones de escasa importancia (sin competencia de proyectos), si, atendidas las circunstancias, así lo estima adecuado el Organismo de cuenca correspondiente.

3º) Régimen de las titularidades de antiguos aprovechamientos de aguas privadas incluidos en el Catálogo.

Su titularidad se mantendrá en la misma forma en que se detentaba el 1 de enero de 1986, o sea con carácter perpetuo o indefinido. Como no podrán gozar de la protección administrativa que se deriva de la inscripción en el Registro de Aguas, los conflictos que surjan entre estos titulares quedarán sujetos a la jurisdicción de los Tribunales ordinarios y tendrán que resolverse conforme a las normas del Código Civil que, según resulta de lo establecido en la disposición final 1ª y en la disposición derogatoria de la Ley de Aguas, continuará regulando estas situaciones. Sin embargo, respecto de esta aplicación de las normas civiles conviene recordar que el artículo 3º, 1 del Código Civil exige que se interpreten teniendo en cuenta la realidad social actual, lo que implica que habrán de plantearse las cuestiones a la luz de los nuevos conocimientos hidrogeológicos, lo que, por otra parte, resul-

ta ya apreciable en la jurisprudencia más reciente anterior a la nueva Ley de Aguas.

La expresión de las disposiciones transitorias 2ª y 3ª de la L. a., al referirse a esta alternativa de inclusión de aprovechamientos en el Catálogo de aguas privadas, es la de que los interesados “*mantendrán su titularidad en la misma forma que hasta ahora*”, pero este término tan amplio de “titularidad” se completa y aclara en las mismas disposiciones transitorias, ya que en sus apartados 3 y 4 se alude explícitamente a la utilización de caudales, al régimen de aprovechamiento, a los aprovechamientos mismos y a la explotación; en coherencia con estas expresiones, también el artículo 195 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, al regular la inclusión en el Catálogo, se refiere a los titulares legítimos de los aprovechamientos, que son los que deben declarar su existencia, el título que han de acompañar debe acreditar el derecho al aprovechamiento, y el Organismo de cuenca, antes de inscribir definitivamente, tendrá que reconocer las características del aprovechamiento.

El Catálogo de aguas privadas es, por tanto, un catálogo de aprovechamientos y así lo califica expresamente la disposición transitoria 4ª, 2. En él se tendrán que reflejar todos los datos que definan los aprovechamientos, enunciados genéricamente en el citado art. 195 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico con las expresiones “*características del derecho al aprovechamiento*” y “*destino de las aguas*”.

Todo ésto significa que la “titularidad” que se mantiene si se inscribe en el Catálogo de aprovechamientos de aguas privadas ha de ser la titularidad completa existente sobre aguas privadas procedentes de manantiales y pozos o galerías que estuvieran en explotación el 1 de enero de 1986. Dicha titularidad comprenderá tanto el derecho de propiedad de las aguas como los derechos de aprovechamiento sobre las mismas, tanto del mismo propietario como de terceros, cualesquiera que sean las relaciones jurídicas, entre aquél y éstos, que hayan originado el derecho de aprovechamiento de los segundos. El derecho de propiedad sobre las

aguas y los distintos aprovechamientos de las mismas, concurrentes con aquél, constituyen en su conjunto la titularidad que puede inscribirse en el Catálogo de aprovechamientos de aguas privadas para que se mantenga en la misma forma en que existía al entrar en vigor la Ley de Aguas.

El propietario mantiene su propiedad y podrá ejercitar todas las facultades inherentes al dominio siempre que no afecte a los derechos de aprovechamiento de terceros. Entre estas facultades dominicales, el propietario tiene también la de uso y aprovechamiento y la mantendrá en la misma forma en que la tenía al entrar en vigor la L. a. Esto implica que, si el titular que ha inscrito en el Catálogo la situación jurídica completa de sus aguas privadas (haciendo constar el aforo, el destino de los caudales, con los diferentes aprovechamientos, y las demás características de la explotación), tiene todavía un remanente de caudales no utilizados, podrá obtener de la Administración que el aprovechamiento real de estos caudales le sea concedido en régimen de servicio público, para riego de tierras, aunque no ostente la titularidad de estas tierras, siempre que acredite que cuenta con la conformidad de los titulares de las mismas que reúnan la mitad de la superficie eventualmente beneficiaria del riego (art. 60 L. a.).

b) Limitación del uso del dominio público hidráulico que afecta a la facultad de disposición de aguas privadas.

Son las derivadas del art. 79 de L. a. (al que se ha dado nueva redacción por la Ley 46/1999, de 13 de diciembre) y art. 80 de la misma Ley, ya transcritos anteriormente.

Integración en la comunidad de usuarios de todos los aprovechamientos que deriven aguas del acuífero sobreexplotado

La constitución de la comunidad de usuarios de un acuífero sobreexplotado es forzosa y constituye uno de los efectos que se derivan de la declaración

provisional de sobreexplotación, siempre que no estuviese ya constituida con anterioridad (art. 171.4, d del RDPH).

Absolutamente todos los aprovechamientos existentes en el perímetro del acuífero deben formar parte de dicha comunidad de usuarios: concesionarios de aguas públicas, titulares de aprovechamientos temporales de aguas privadas inscritos en el Registro de Aguas o declarados en el Catálogo e, incluso, titulares de aprovechamientos del artículo 52 de la Ley de Aguas.

En principio, los titulares de aprovechamientos de aguas subterráneas cuyo volumen total anual no sobrepase los 7.000 metros cúbicos –a los que se refiere el art. 52.2 de L. a.– no estarán obligados a integrarse en ninguna comunidad de usuarios, puesto que no se les aplican las limitaciones del dominio público hidráulico, al no referirse a tales aprovechamientos la disposición transitoria tercera de la propia Ley. Sin embargo, el mismo art. 52.2 de la Ley dispone que, en los acuíferos que hayan sido declarados como sobreexplotados, o en riesgo de estarlo, no podrán realizarse nuevas obras, de las amparadas por dicho apartado 2 del art. 52, sin la correspondiente autorización. En concordancia con esta disposición, uno de los efectos de la declaración provisional de sobreexplotación es la suspensión del derecho de apertura de nuevas captaciones establecido en el repetido art. 52.2 de L. a., quedando sometido este tipo de uso, durante la vigencia de la situación de sobreexplotación, al régimen de autorización que se haya establecido expresamente en la declaración. Se está refiriendo esta norma, por consiguiente, a las autorizaciones necesarias para nuevos aprovechamientos de menos de 7.000 metros cúbicos anuales, para las que habrá que estar a ese régimen expreso previsto en las condiciones dictadas al respecto por el Organismo de cuenca que, como es lógico, podrá imponer la de que se integren los nuevos titulares de esos aprovechamientos en la comunidad de usuarios del acuífero declarado sobreexplotado.

Características de las comunidades de usuarios de acuíferos sobreexplotados

Son, sin duda, muy importantes, los aspectos organizativos de la gestión colectiva de las aguas subterráneas, sobre los cuales se pronuncian la gran mayoría manifestando el parecer de que es necesario que las Comunidades de Usuarios de gran extensión y, en particular, las de acuíferos sobreexplotados, deben organizarse como una Empresa, con su Director Técnico, Secretario-Asesor Jurídico, etc., sin merma del mantenimiento de los Organos propios de la Comunidad: Asamblea, Junta de Gobierno o Sindicato de Regantes, Jurado de Riegos, Presidente, etc.

En los aspectos económicos y técnicos ocurre otro tanto, siendo necesario que exista un Tesorero-Contador, con su oficina de contabilidad, técnicos en materia de riegos, de telecomunicaciones, de informática, etc.

Y en los aspectos institucionales, se propugna con razón la necesidad de que se cree una estructura eficaz en la que los usuarios jueguen un papel activo y relevante, en coordinación con la Administración competente.

Para analizar si es posible alcanzar esa necesaria adecuación en los aspectos organizativos, económicos, técnicos e institucionales de las comunidades de usuarios, en el marco de la legislación de aguas que se ha promulgado fundamentalmente en 1985 y 1999, hay que plantearse cuáles son las posibles estructuras organizativas dependiendo de los objetivos de la gestión y del tipo de miembros.

– En las comunidades más simples, bastará una comunidad ordinaria de usuarios con la organización normal de la misma: Asamblea, Sindicato, Jurado, Presidente, Secretario, Tesorero.

– En las colectividades muy complejas, que tengan como objetivo el solucionar problemas de sobreexplotación o similares y con comuneros que sean Ayuntamientos, Sociedades Anónimas o de Responsabilidad Limitada, Sociedades Civiles, comunidades de pozos, etc., lo normal será constituir comunidades de usuarios

ordinarias determinadas por la proximidad territorial y las relaciones ya existentes entre comuneros concretos que, por ejemplo, utilicen la misma infraestructura o aprovechen el agua de los mismos sondeos, para constituir a continuación una Comunidad General o Junta Central (según los casos). La existencia de sociedades y comunidades de bienes, con socios o comuneros titulares de acciones, participaciones o cuotas indivisas de los respectivos aprovechamientos, no es obstáculo para la constitución de las Comunidades Ordinarias de Usuarios, ya que las cuotas de todos y cada uno de los socios o copropietarios en los aprovechamientos de cada comunidad de usuarios ordinaria se determinará en función del número de acciones, participaciones, etc. que, respectivamente, detenten.

La Comunidad General o Junta Central deberá estar dotada de una organización empresarial que complemente la organización típica de la comunidad de usuarios: Director Técnico, Letrado-Secretario, Tesorero-Contador profesional, especialistas informáticos y de telecomunicaciones, etc.


Bibliografía

- AGUILERA KLINK, F.: “El agua como recurso de propiedad común: una perspectiva económica”, *Estudios Regionales*, nº 20 (1988), pág. 24.
- BARRIOBERO MARTÍNEZ, I.: “La sobreexplotación grave de los acuíferos (Comentario a las Sentencias del Tribunal Supremo de 30 de enero y de 14 de mayo de 1996)”, *Revista de Administración Pública*, nº 144, Septiembre-diciembre de 1997, pp. 219 a 230.
- CASTANY y MARGAT, *Diccionario de Hidrogeología* (1971).
- VICENTE DOMINGO, R. de, “Regímenes especiales de explotación, sobreexplotación y salinización de las aguas subterráneas”, *Revista Española de Derecho Administrativo*, 1989, p. 580.

Una propuesta de guía para el estudio de la gestión del agua en comunidad de regantes

 **Amparo Merino de Diego**

Facultad de CC. Económicas y Empresariales
Universidad San Pablo CEU (Madrid)

 **José Antonio Batista Medina**

Facultad de Geografía e Historia
Universidad de La Laguna (Santa Cruz de Tenerife)

Toda comunidad de regantes, como sistema abierto, se encuentra en permanente interacción con su entorno. Un marco de actuación fuertemente condicionado por las ineludibles tendencias del orden internacional y caracterizado por la apertura y globalización de los mercados, las nuevas dimensiones que ofrece la plena integración europea, las incesantes innovaciones tecnológicas, las nuevas tendencias en la forma de considerar el agua y sus costes, etc. Un entorno, en definitiva, crecientemente complejo e incierto y en el que la capacidad de adaptación de los regantes es fundamental para su supervivencia.

En este trabajo consideramos que el análisis de sistemas de irrigación, especialmente si es con la finalidad de aplicar los resultados, debería hacerse desde una perspectiva amplia e integradora, es decir, teniendo en cuenta que en ellos hay componentes económicos, sociales, políticos, culturales, infraestructurales, etc. que han de ser estudiados y comprendidos *sistémicamente*. Así, por ejemplo, el buen funcionamiento de

un sistema de riego requiere la existencia de reglas, procesos, personas, organizaciones de diferente nivel, etc. Estos elementos son, al menos, tan importantes como contar con modernas y, muchas veces, costosas infraestructuras. Sin embargo, en el marco de la investigación aplicada en este campo es corriente relegar los aspectos sociales, políticos y culturales al compartimento de lo poco relevante o secundario o, incluso, al campo de las curiosidades.

Una herramienta útil para sistematizar todo este conjunto de variables relevantes es el diagnóstico o análisis estratégico, paso absolutamente imprescindible dentro del proceso de definición e implantación de estrategias que orienten la situación futura de la organización hacia el cumplimiento del objetivo último: la supervivencia en las mejores condiciones posibles a través de una adecuada inserción en el entorno. De ahí que el análisis estratégico integre, por una parte, el adecuado conocimiento del contexto en el que actúa la organización ¹ para detectar las oportunidades, amena-

1. Por la limitación del espacio disponible no podemos desarrollar la parte correspondiente al análisis del entorno. Con todo, señalaremos que una forma útil de abordar los múltiples factores que caracterizan el medio en el que se desenvuelven las comunidades de regantes consiste en agruparlos en tres categorías: los relacionados con el sector en el que los regantes desarrollan su actividad, los pertenecientes al contexto físico en el que se hallan y, por último, los aspectos institucionales (la normativa sobre agua y riego, la política hidráulica y agraria...) que tanto condicionan sus posibilidades de actuación.

zas y retos que éste encierra, y, por otra, la identificación, a partir del análisis interno de la organización, de sus puntos fuertes y débiles que, respectivamente, deberá potenciar y fortalecer. Basándonos en tal herramienta, proponemos una guía para el estudio de comunidades de regantes. Puesto que un desarrollo pormenorizado de la misma sería demasiado largo, máxime teniendo en cuenta su carácter *globalizador* (inclusión de todos los aspectos relevantes para el análisis de un sistema de riego), en las siguientes líneas sólo exponremos los aspectos generales, es decir, nos limitaremos a establecer las pautas para la elaboración de los cuestionarios².

Análisis interno

El estudio del ámbito interno de la organización a través del análisis de sus recursos físicos, financieros y, de modo especial, sus recursos humanos (desde la óptica de sus relaciones de poder, de comunicación, de información, etc., tanto formales como informales, y de sus procesos de toma de decisiones), permite identificar los aspectos positivos y negativos que harán posible, reforzando los primeros y paliando los segundos, la adaptación al entorno en el desempeño de sus funciones y en logro de sus objetivos. De ahí que tomemos como eje principal para este análisis interno los tres tipos de recursos mencionados y la forma en la que se relacionan.

Análisis de la explotación

En su sentido más amplio, el análisis de la explotación implica estudiar el proceso de transformación físico que tiene lugar en la organización, es decir, aquél en el que, mediante la aplicación de procedimientos tecnológicos, los factores de producción son transformados en bienes o servicios. En el caso que nos ocupa, se

produce la transformación del recurso hídrico no disponible en agua preparada para su aplicación a la parcela de riego en la cantidad, calidad y momento adecuados. Para ello es indispensable la construcción de obras hidráulicas para regular y conducir el agua a las parcelas, así como obras de avenamiento para el drenaje de los recursos no aprovechados por los cultivos y, en su caso, obras para la elevación de agua. Además, todo el proceso desde que el recurso hídrico es captado hasta que es empleado para regar los cultivos tiene detrás reglas (p. ej., las que establecen cómo y cuánta agua corresponde a cada regante o a sus terrenos; las que determinan qué hay aportar y cuándo para sostener la organización...), procedimientos (p. ej., los de distribución del recurso hídrico), etc. que lo gobiernan y, en definitiva, hacen posible esa transformación.

Estructura de las explotaciones

La estructura de las explotaciones es uno de los factores que mayor influencia poseen sobre las posibilidades de cultivos para un regante, así como en la eficiencia en el uso del agua, debido a razones técnicas y de organización del riego, de modo que constituye una de las limitaciones más importantes para el desarrollo de actuaciones de modernización en una zona regable. Asimismo, es fundamental para comprender diversos aspectos relacionados con la asignación y la distribución del agua (p. ej., mayores dificultades para introducir determinados procedimientos de suministro) y, en general, con el funcionamiento de la comunidad de regantes³. De ahí que entre los primeros datos a tener en cuenta al estudiar una organización de este tipo se encuentren los relacionados con la superficie, tanto regable como normalmente regada, que domina, el número de parcelas existentes, la distribución de éstas entre los comuneros (número medio de parcelas por cada uno) y en el espacio (dispersión o concentración

2. Pueden consultarse los que aparecen en los trabajos de Sumpsi Viñas *et al.* (18, pp. 335-343) y Pulido García (12, pp. 109-115).

3. En principio, las tareas de control, la participación en asuntos de interés colectivo... encuentran más dificultades en una zona regable de 500 hectáreas que es propiedad de 1.000 personas que en otra de igual superficie que pertenece a 70.

de las parcelas que integran cada explotación), así como con el grado de actualización del padrón de propietarios y con los posibles cambios que haya experimentado la superficie en los últimos años, incluyendo una eventual concentración parcelaria.

Asimismo, la estructura social no puede desligarse de los anteriores datos, puesto que el perfil social de los regantes es sumamente revelador de las condiciones en las que éstos desarrollan su actividad. Aquí debe atenderse a aspectos como la forma en la que se distribuye la propiedad entre los comuneros, los regímenes de tenencia de la tierra que predominan, el peso que la actividad agraria tiene en las rentas de los agricultores, así como su edad, su formación y, por último, las cuestiones de género (mujeres propietarias, implicación de éstas en la agricultura de regadío...).

Cultivos

La trascendencia del cultivo que se pone en riego para las necesidades y el consumo de agua en una comunidad de regantes es clara, por lo que resulta imprescindible analizar qué cultivos han predominado en los últimos años, bajo qué sistema (aire libre, invernadero, enarenado, etc.) y, de modo especial, qué factores han motivado la elección de unos cultivos y no otros, entre los que podemos citar su productividad/rentabilidad; el consumo de agua; la estructura de las subvenciones; las restricciones que impone el clima, el suelo o diversas variables socioeconómicas (p. ej., el régimen de tenencia dominante); la actuación de los competidores y las tendencias de la demanda. Será interesante, en consecuencia, estudiar las cifras de productividad y consumo de agua de los cultivos elegidos, información que quedará enriquecida con el análisis del nivel de formación tanto técnica de los regantes como de capacitación empresarial.

Infraestructura

El método de riego empleado por el agricultor y la infraestructura hidráulica de la zona regable y de la comunidad de regantes constituyen el argumento central, y casi exclusivo, sobre el que suele girar el análisis del consumo de agua que en una comunidad se efectúa. La importancia de los componentes infraestructurales es clara e indiscutible, pero debemos reiterar la necesidad de contemplar tal análisis bajo una perspectiva mucho más amplia y pluridisciplinar que, por tanto, abarque las múltiples y diversas variables a las que hicimos referencia al comienzo de nuestro trabajo. Hecha la advertencia, resulta útil estudiar la infraestructura hidráulica del sistema, considerando las distintas partes que, de modo general, la componen: 1) infraestructuras para la captación y/o almacenamiento de agua; 2) sistema de canales o acequias para llevar el recurso hídrico desde la toma hasta la cabecera de la comunidad o red de conducción; 3) red de distribución desde la cabecera a, en su caso, subzonas o grupos de fincas; 4) si existen subzonas, red de distribución dentro de las mismas; y 5) infraestructuras para la aplicación del agua a la parcela.

Con respecto al mantenimiento, resulta conveniente, en primer lugar, conocer el grado de responsabilidad que poseen los usuarios sobre los distintos tramos de la red y, posteriormente, estudiar aspectos como las reglas o acuerdos institucionales relacionados con esta función y, en general, su organización en los distintos niveles, si es el caso, del sistema. En relación con ello es necesario, dada su influencia en la eficiencia técnica del sistema, analizar el estado de conservación en el que se encuentran las partes que lo integran (incluyendo el estudio de aspectos concretos como el grado de automatización en el uso del agua o la flexibilidad del sistema a través de elementos como las balsas de regulación en tránsito)⁴.

4. No debemos pasar por alto que parte de los problemas a los que se enfrentan los agricultores y que nos ayudan a comprender algunas de sus respuestas individuales o colectivas (por ejemplo, la existencia de más infracciones en los últimos tramos de largos canales, donde con mayor probabilidad los agricultores recibirán menos agua debido a las pérdidas) pueden tener como base el mal estado de conservación de los elementos infraestructurales del sistema.

Además, es imprescindible conocer la existencia de contadores (en cabecera de la comunidad o de las subzonas o en cada parcela) u otros medios para el control del consumo: sólo puede gestionarse un recurso de modo racional cuando se sabe quién lo consume, en qué cuantía y para qué usos. La ausencia de sistemas objetivos de medida y control del agua utilizada en gran parte de los regadíos españoles es una de las causas de la extraordinaria precariedad de la información oficial al respecto.

Todo lo anterior conduce a la trascendental cuestión de la modernización de los regadíos, término que, si bien es empleado de forma muy genérica, en la práctica, supone un proceso específico para cada realidad concreta y puede integrar actuaciones sumamente variadas: desde la consolidación de dotaciones o cambios más o menos simples en las estructuras actuales que las hagan más eficientes (por ejemplo, un revestimiento de acequias o una mejora del aforo de las mismas para mejorar la inundación), hasta la modificación de todos los sistemas de regulación, distribución y aplicación del riego, implantando técnicas que permitan un riego más racional, adecuando la distribución de las explotaciones y nivelando terrenos. Y, en cualquier caso, el concepto debería incluir la transformación de la concepción de la actividad del regante, que requiere la gestión de explotaciones con una dimensión adecuada y bien equipadas, con la necesaria formación para poder desarrollar una actitud proactiva y abierta al cambio.

Por ello, resulta ilustrativo estudiar las motivaciones que, en su caso, han conducido a los regantes, individual o colectivamente (p. ej., a través de la comunidad de regantes), a emprender un proceso de mejora y modernización: la optimización en el uso de un agua disponible relativamente escasa, la mejora en las condiciones laborales de los agricultores, el aumento de la

productividad del agua, el ahorro en productos fitosanitarios, la posibilidad de diversificar los cultivos introduciendo los más rentables, abordar el obstáculo de una ineficiente estructura de las explotaciones, etc. Adicionalmente, el grado de corresponsabilidad financiera de los regantes para abordar la modernización será una variable útil para analizar su capacidad de iniciativa, su espíritu empresarial o su grado de implicación en la actividad agraria.

Asignación, distribución y aplicación del agua⁵

Centrándonos, en primer lugar, en la asignación, se trata básicamente de conocer cuál es el criterio bajo el que se asigna una determinada cantidad de agua al regante (superficie regable, superficie efectivamente regada, tipo de cultivo...), tanto en momentos de dotación normal como en sequía, de determinar cómo se concreta aquella (cierto volumen, tiempo de riego...), así como de establecer, en su caso, las constricciones de diverso tipo (acuerdos de la comunidad, dispersión parcelaria, indeterminación de la cantidad correspondiente a cada terreno...) que se encuentran los agricultores para almacenar individualmente el agua que les corresponde. En estrecha relación con la asignación del recurso hídrico se encuentra su distribución, razón de ser de una comunidad de regantes, por lo que deberemos abordar las cuestiones referidas a la dotación de agua (bruta, neta, concesión punta) que poseen los regantes, la garantía de suministro y, en su caso, las medidas establecidas, individual o colectivamente, para hacer frente al déficit (transferencias entre parcelas y/o regantes, extracción de aguas subterráneas, etc., indicando, siempre que sea posible, el coste involucrado en la implantación de tales medidas).

5. Distinguimos, como Varisco (21, p. 367), Martín y Yoder (10, p. 2) y Yoder (22, p. 25), los conceptos de asignación y distribución, que suelen emplearse como equivalentes. La asignación hace referencia, fundamentalmente, al establecimiento de los derechos de riego o, en su caso, al agua, fijándose, entre otras cosas, la cantidad de recurso correspondiente a cada regante o terreno. La distribución son los procedimientos mediante los cuales se suministra o reparte. Sería, en otras palabras, la forma concreta de "poner en práctica" esos derechos. Con todo, ambos procesos se hallan claramente relacionados, por lo que con frecuencia aparecerán, en el presente trabajo, unidos con un guión.

Una vez conocida la organización espacial del riego por la comunidad, la forma concreta en la que se distribuye el agua entre los regantes⁶ puede ser incluida dentro de dos grandes sistemas: por turnos⁷ o a la demanda. Ambos poseen implicaciones muy diversas en el manejo del agua por parte de los regantes y en la gama de cultivos que pueden desarrollar, pero también en aspectos más intangibles como la calidad de las condiciones de trabajo. En el caso de la distribución por turnos, por las diversas variantes que puede presentar, deben abordarse distintas cuestiones de gran trascendencia para el análisis de las opciones de los regantes como la forma en la que se fijan los turnos, el número de días que transcurren entre dos turnos (y en caso de variabilidad, los criterios de los que depende la misma), el caudal de riego o módulo, la duración del suministro (día y noche, determinadas horas durante el día, etc.), el grado de conocimiento con suficiente antelación que poseen los regantes de los principales componentes del procedimiento de distribución (especialmente el día y la hora de acceso al agua de riego), así como el número de hectáreas que tienen bajo su vigilancia los guardas de la comunidad.

Además, en general, resulta muy ilustrativo valorar la flexibilidad de la comunidad (acuerdos más o menos formales) o de su personal (decisiones particulares) para distribuir agua (o, en su caso, introducir cambios en el procedimiento de distribución establecido) en función de las diferencias edáficas (condiciones de retención de los suelos) y de cultivos, es decir, para adaptar la frecuencia de riego u otros componentes (p. ej., el caudal de riego) a las necesidades específicas. Asimismo, habrá que evaluar la equidad en la asignación y en la distribución del agua, así como explorar la visión mantenida por los regantes

sobre la adecuación de la asignada y/o distribuida a las necesidades de sus cultivos y, en suma, su opinión general sobre el suministro de este recurso en su comunidad (6, 13 y 19).

Por otra parte, al encontrarnos ante un recurso común, es necesario estudiar los mecanismos de control que utiliza la colectividad para asegurar el correcto uso del mismo⁸, que variarán en función de las características de la infraestructura de riego: los elementos de medición del uso del agua, la automatización del sistema, los guardas de riego o los propios regantes. Para abordar el grado de cumplimiento de las normas y la conflictividad existente dentro del sistema se pueden analizar cuestiones como el número de comuneros sancionados en campañas con y sin problemas de abastecimiento, las acciones que dan lugar a denuncias y sanciones, la distribución mensual de las infracciones, las razones de éstas, los incentivos para denunciar por parte de los guardas de riego, el grado de eficacia del sistema sancionador, etc. Esto nos conduce al análisis del funcionamiento de un órgano muy importante en las comunidades de regantes: el jurado de riegos.

Por último, es preciso añadir cuestiones relativas a la propia gestión del agua de riego que lleva a cabo el regante en su explotación, teniendo en cuenta el grado de formación al respecto y cómo toma las decisiones de riego, es decir, si acude a asesoramiento por parte de la comunidad de regantes u otras entidades, si lo deja al criterio, en su caso, de un regador profesional contratado al efecto, si toma la decisión basado exclusivamente en su experiencia, etc. Y, por supuesto, hay que estudiar los métodos de riego empleados, sobre los que es preciso conocer en qué proporción se utilizan en la zona regable de interés y si ha habido cambios recién-

6. Un reciente análisis de carácter empírico de esta cuestión en diferentes comunidades de regantes aparece en Sumpsi Viñas *et al.* (18). También son de interés algunos de los trabajos recogidos en López-Gálvez y Naredo (8). Un clásico, de mucha importancia para nuestro Estado, es el de Maass y Anderson (9), resumido en castellano en la introducción que hace Sánchez López al trabajo de Anderson y Maass (1). Desde una perspectiva más teórica puede resultar interesante el estudio de Bromley (4).

7. Usamos "turno" en un sentido más general que el otorgado por Anderson y Maass (1, p. 119), y Maass y Anderson (9, pp. 28, 49, 377).

8. Para el análisis de los sistemas de riego desde la perspectiva de la gestión colectiva de recursos comunes recomendamos la lectura de los trabajos de Ostrom (11), Tang (20) y Lam (7).

temente (o están proyectados), analizando las principales motivaciones que hay detrás de tales cambios.

Análisis económico-financiero ⁹

Para lograr que un sistema de irrigación funcione eficazmente a lo largo del tiempo es necesario hacer frente a gastos elevados (sobre todo si comparamos la gestión del agua de riego con la de otros recursos), siendo corriente que los propios usuarios aporten los recursos financieros necesarios. Asimismo, es claro el papel de la traslación del coste del agua a los usuarios para transmitir señales de escasez sobre el recurso e incentivar un comportamiento no despilfarrador del mismo, aunque sea necesario considerar otros factores. De ahí que en el estudio de los aspectos económico-financieros de la comunidad cobre un protagonismo especial la forma en la que se construye la cuota que abonan sus miembros. Así, en primer lugar habría que conocer el criterio básico que define la cuota ordinaria: variable (con un precio por m³ consumido, con precios distintos por tramos de consumo y/o con bonificación por m³ ahorrado desde una base), fijo (con un precio por hectárea regada o regable) y binómico (una cantidad por superficie y otra por agua consumida). El estudio de tal criterio se completa con el de la variable que se toma en consideración para establecer las derramas.

Tras conocer las cuotas de las últimas campañas, convendría proceder a su desglose, estudiando, en su caso, el peso relativo de cada una de las partidas: canon de regulación, tarifa de utilización, y cuota que se abona para los gastos de la comunidad. Con respecto a éstos, habrá que analizar tanto su naturaleza como su importancia relativa: gastos de personal (de administración y de campo), reparación y mantenimiento de

infraestructuras, amortización de éstas, inversiones de mejora, control del buen uso del agua, cuota a abonar a la Comunidad General, energía, impuestos, gastos de información (y formación) a los regantes y otros gastos generales.

En correspondencia con la descomposición de los gastos, la de los ingresos requerirá conocer la proporción del total que representan las cuotas y derramas abonadas por los comuneros, los ingresos financieros y los ingresos derivados de otros servicios al margen de la distribución del agua de riego como, por ejemplo, los generados por los aprovechamientos hidroeléctricos. En este sentido, conviene analizar la morosidad en los comuneros: principales razones de la falta de pago, número de miembros morosos (y, si es posible, características principales), cantidades sin abonar; medidas formales e informales de sanción, etc.

Análisis de la organización

Todas las actividades de cualquier empresa están determinadas por las personas que la componen: diseñan y elaboran los productos y los procesos de producción, toman la decisión de modernizar o no, aseguran el capital preciso, deciden sobre los procedimientos contables y organizativos... Efectivamente, los recursos humanos son un factor esencial en la organización que la hacen única.

Dirección y liderazgo ¹⁰

Consideramos oportuno explorar el perfil de las personas que desempeñan cargos dentro de la comunidad, centrándonos en aspectos como su grado de dedicación a la agricultura, el tipo de explotaciones que

9. Para una aproximación general a este tipo de cuestiones recomendamos el trabajo de Small y Carruthers (14). En España también se han publicado, recientemente, estudios importantes como son, entre otros, los de Sumpsi Viñas *et al.* (18), Sumpsi Viñas (15, 16 y 17), Caballer y Guadalajara (5) y algunos de los incluidos en López-Gálvez y Naredo (8).

10. Se trata de dos conceptos que, aunque empleados a veces como equivalentes, poseen significados bien distintos: la dirección implica a todos los miembros de una organización dotados de autoridad formal, mientras el liderazgo significa la capacidad de influir sobre los miembros de la organización de modo que se identifiquen con los objetivos y actúen para conseguirlos. Creemos pertinente esta distinción a la hora de estudiar las comunidades de regantes en su contexto debido a que no siempre los líderes actúan desde dentro de las propias organizaciones, aunque influyen (o pueden hacerlo) sobre la marcha de éstas a través de otros canales informales, pero no por ello menos efectivos.

gestionan, su nivel de formación, su perfil profesional, su implicación activa en la vida social y política de la comarca, su relación, en su caso, con la Comunidad General y con las distintas Administraciones con las que se relaciona la comunidad, etc. El estudio de estos aspectos facilita la comprensión del grado de implicación de los comuneros con cargos en la marcha de la organización y el dinamismo y la capacidad de adaptación que pueden fomentar en la colectividad.

De hecho, en el grado de empuje e iniciativa de los miembros de una comunidad para adoptar cambios necesarios para su supervivencia a largo plazo puede tener un peso sumamente relevante la figura del presidente de la misma. Este cargo, que a veces coincide con el de presidente de la Junta de Gobierno (véase 12, p. 59), representa en numerosas organizaciones el líder carismático y reconocido por todos los comuneros, que genera un elevado grado de adhesión a sus posturas y opiniones, por lo que la reelección es la pauta dominante. En otras ocasiones, se trata de personas muy comprometidas con el funcionamiento de la comunidad y que están dispuestas a invertir tiempo y esfuerzo en una actividad no retribuida. Las características personales de los presidentes, pues, generan una gran diversidad de actitudes en los mismos y, por tanto, en las colectividades que representan.

Información y comunicación

En el estudio de las condiciones de la gestión colectiva (bajo un régimen de propiedad común) para la perdurabilidad de un recurso común como es el agua, los distintos autores tienden a coincidir en la necesidad de que los usuarios dispongan de información completa sobre el recurso que manejan y, en relación con ello, de una comunicación fluida entre todos los usuarios (2). Por ello es preciso analizar los medios, tanto formales como informales, con los que se cuenta en las comunidades de regantes para recabar información básica de interés y para suministrarla, prestando especial aten-

ción a las formas de acceso a ésta por parte de los regantes y a los esfuerzos de sus organizaciones por mantener una buena comunicación entre todos los implicados en la gestión y el uso del recurso hídrico. En relación con ello, es fundamental estudiar, dada su importancia para la toma de decisiones y para el diseño de estrategias de acción, el grado de información sobre diversos aspectos (disponibilidad de agua y demanda dentro del sistema, calidad del recurso suministrado, contenido de los Estatutos, acuerdos adoptados en la Asamblea, disposiciones autonómicas y nacionales...) que poseen los usuarios.

Participación y representatividad

El grado de implicación y compromiso de los regantes con el funcionamiento de su organización tiene un reflejo importante en los niveles de asistencia a las distintas convocatorias de la Junta General, que, a su vez, suelen ir asociados a los temas del orden del día (distribución del agua en momentos de escasez, la propuesta sobre proyectos de cambio y modernización, cambios relacionados con las cuotas, el acaecimiento de hechos relevantes para el regadío en general, etc.). De modo análogo, se deberán estudiar los niveles de participación y asistencia de los vocales a las sesiones del Sindicato.

Relacionado con lo anterior se encuentra la cuestión del sistema de votación. Si bien la Ley de Aguas marca una proporcionalidad entre, por lo general, las hectáreas de tierra poseídas y el número de votos que pueden emitir los comuneros (véase 3, pp. 118-119), cabe preguntarse si en algún momento se ha planteado la posibilidad de introducir criterios que compensen tal proporcionalidad o si, en la práctica, funciona la regla “un hombre un voto” u otro sistema no recogido en las Ordenanzas. La información sobre la representatividad ha de completarse con el estudio de las posibilidades de participación que poseen los regantes no propietarios, con la presencia de criterios de división (espaciales, administrativos, sociales, etc.) para la distribución

de los votos, con el estudio de la existencia de posibles grupos de poder en la comunidad en torno a otros tipos de liderazgo (partidos políticos, asociaciones agrarias, sindicatos, etc.) y con la exploración del sentimiento de equidad en la representación de todos los miembros de la comunidad.

Bibliografía

- ANDERSON, R.L. Y MAASS, A. (1985). *Un modelo de simulación para sistemas de regadío. Los efectos del suministro y de los procedimientos operativos de distribución del agua en la producción y en las rentas de las explotaciones de regadío*. Madrid-Salamanca: Centro Superior de Investigaciones Científicas, Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca.
- BLOMQUIST, W. Y OSTROM, E. (1992 [1985]). "Capacidad institucional y solución al dilema de los recursos de propiedad común". En AGUILERA KLINK, F. (coord.) (1992). *Economía del agua*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, págs. 383-402.
- BOLEA FORADADA, J.A. (1998). *Las comunidades de regantes*. Zaragoza: Comunidad General de Usuarios del Canal Imperial de Aragón.
- BROMLEY, D. (1982). *Improving irrigated agriculture. Institutional reform and the small farmer*. Washington, D.C.: The World Bank.
- CABALLER, V. Y GUADALAJARA, N. (1998). *Valoración económica del agua de riego*. Madrid: Mundi-Prensa.
- CHAMBERS, R. (1988). *Managing canal irrigation. Practical analysis from South Asia*. Nueva York. Cambridge University Press.
- LAM, W.F. (1996). *Governing irrigation systems in Nepal. Institutions, infrastructure and collective action*. Oakland: ICS Press.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, J. Y NAREDO, J.M. (eds.) (1997). *La gestión del agua de riego*. Madrid: Fundación Argentaria-Visor.
- MAASS, A. Y ANDERSON, R.L. (1978). *...and the desert shall rejoice. Conflict, growth, and justice in arid environments*. Cambridge: MIT Press.
- MARTIN, E.D. Y YODER, E. (1987). *Institutions for irrigation management in farmer-managed systems. Examples from the hills of Nepal*. Colombo: International Irrigation Management Institute. IIMI Research Paper, 5.
- OSTROM, E. (1992). *Crafting institutions for self-governing irrigation systems*. San Francisco: ICS Press.
- PULIDO GARCÍA, F. (1989). *Las comunidades de regantes extremeñas*. Cáceres: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura.
- RAO, P.S. (1993). *Review of selected literature on indicators of irrigation performance*. Colombo: International Irrigation Management Institute.
- SMALL, L.E. Y CARRUTHERS, I. (1991). *Farmer-financed irrigation. The economics of reform*. Cambridge: Cambridge University Press-International Irrigation Management Institute.
- SUMPSI VIÑAS, J.M^a. (1994). "El régimen económico-financiero del agua y la agricultura". *Revista de Estudios Agro-Sociales*, 167 (enero-marzo): 59-88.
- SUMPSI VIÑAS, J.M^a. (1998). "Los efectos de la aplicación de nuevas tarifas del agua en el regadío español". *Revista Asturiana de Economía*, 13: 27-51.
- SUMPSI VIÑAS, J.M^a. (1998). "Efectos de las políticas tarifarias sobre la demanda de agua, renta agraria y recuperación de costes de la agricultura de regadío en España". En VV.AA. *El agua a debate desde la Universidad. Hacia una nueva cultura del agua*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza y otras entidades, págs. 351-367.
- SUMPSI VIÑAS, J.M^a.; GARRIDO COLMENERO, A.; BLANCO FONSECA, M.; VARELA ORTEGA, C. E IGLESIAS MARTÍNEZ, E. (1998). *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Mundi-Prensa.

- SVENDSEN, M. Y SMALL, L.E. (1990). "Farmer's perspective on irrigation performance". *Irrigation and Drainage Systems*, 4: 385-402.
- TANG, S.Y. (1992). *Institutions and collective action. Self-governance in irrigation*. San Francisco: ICS Press.
- VARISCO, D.M. (1983). "Sayl and Gahyl: the ecology of water allocation in Yemen". *Human Ecology*, 11(4): 365-383.
- YODER, R. (1994). *Locally managed irrigation systems. Essential tasks and implications for assistance, management transfer and turnover programs*. Colombo: International Irrigation Management Institute.

De un turno convencional a un turno mejorado: análisis de los resultados de los cambios en la asignación y la distribución del agua en una comunidad de regantes de La Palma (Islas Canarias)

■ **José Antonio Batista Medina**

Laboratorio de Antropología Social. Instituto de Ciencias Políticas y Sociales
Universidad de La Laguna (Tenerife)

La asignación y la distribución del agua de riego¹ son fundamentales en todo sistema de irrigación, aunque a veces no reciban la atención requerida. Hay que tener en cuenta que el uso del agua en las parcelas, la superficie a cultivar, los cultivos establecidos en una zona y las posibilidades de introducir otros, su rendimiento, la distribución de los beneficios en la zona regable, los niveles de conflictividad interna... dependen, en buena medida, de cómo se asigna el recurso hídrico y de cómo se distribuye. Sin negar la importancia que tienen los sistemas tarifarios, los métodos de riego, la red de conducción y distribución disponible, etc., consideramos que el análisis detallado de la asignación-distribución del agua en las comunidades de regantes debe ser prioritario en el marco de políticas de mejora del uso de este recurso en la agricultura, más centradas en otro tipo de aspectos.

En el presente trabajo vamos a analizar los cambios

introducidos en la asignación-distribución del agua en un sistema de riego del NE de La Palma (Los Sauces [municipio de San Andrés y Sauces]), comparando la que funcionó hasta mediados de los ochenta con la actual y prestando especial atención a algunos de los resultados más significativos de la puesta en marcha de esta última.

A finales de 1997, la superficie inscrita en la Comunidad de Regantes era de 240,83 hectáreas, dedicadas, principalmente, a platanera (348 ha en todo el municipio en 1995). El agua empleada en este sistema proviene, casi en su totalidad, de los importantes manantiales de Marcos y Cordero².

De un turno convencional a un turno mejorado

Donde el agua está adscrita a la tierra, como ocurre en el caso que nos ocupa, la cantidad de agua disponi-

1. Distinguimos, como Varisco (18, p. 367), Martin y Yoder (12, p. 2), Yoder (20, p. 25) y Hoogendam et al. (7, p. 101) los conceptos de asignación y distribución, que suelen emplearse como equivalentes. La asignación hace referencia, fundamentalmente, al establecimiento de los derechos de riego o, en su caso, al agua, fijándose, entre otras cosas, la cantidad de recurso correspondiente a cada regante o terreno. Llamamos distribución a los procedimientos mediante los cuales se suministra o reparte el agua. Sería, en otras palabras, la forma concreta de “poner en práctica” esos derechos. Con todo, ambos procesos se hallan claramente relacionados, por lo que con frecuencia aparecerán, en el presente trabajo, unidos con un guión.

2. Para más detalles sobre la agricultura de regadío en Los Sauces véase Batista (4).

ble se suele asignar en proporción a la superficie de los terrenos propiedad de cada agricultor. Hay, pues, una estrecha relación entre la tierra y el agua de riego en lo que se refiere a la asignación. Sin embargo, durante mucho tiempo (hasta mediados de los ochenta) aquella no estuvo bien definida al no especificarse la cantidad (medida en unidades de tiempo o volumen) que correspondía a cada unidad de superficie básica (en este caso, el celemn, que equivale a 437 m²). *Grosso modo*, cuando a un agricultor le tocaba regar, estaba el tiempo que consideraba necesario para satisfacer los requerimientos de los cultivos en ese momento. Pues bien, tal procedimiento es encuadrado por algunos autores (11, p. 377; 3, p. 119; 19, p. 152) en el denominado *turno*, que funciona o ha funcionado en numerosos sistemas de riego de nuestro país.

Hasta 1986, no existía un caudal de riego (llamado “chorro” en la zona)³ fijado o definido, como ocurre en la actualidad. Según numerosos informantes, la cantidad suministrada solía ser de tal magnitud que el recurso hídrico era compartido por varios agricultores de una misma zona, que, en principio, tomaban la cantidad que estimaban conveniente, aunque si el “guardador” (acequero) apreciaba que la empleada por alguno era excesiva y se estaba produciendo un claro desperdicio, podía llamarle la atención y/o denunciarle.

Tampoco había intervalos fijados entre riegos, lo que caracteriza a la distribución por turno según la definición que manejamos aquí. Dicho en pocas palabras, cuando se llegaba al final, con independencia de los días que ésto supusiese, el suministro comenzaba otra vez en la cabecera. El análisis de los registros existentes en la Comunidad referidos a la etapa 1966-1978 (gráfico 1) indica que un factor que incidía claramente en la duración media de los “turnos”⁴ era la disponibilidad de agua. Parece existir, en tal sentido, relación entre los años con una mayor cantidad de recurso hídrico disponible y aquellos en los que los “turnos”

abarcaban menos días, y, asimismo, entre los años de menor disponibilidad y aquellos de “turnos” más largos (p. ej., mediados de los setenta), que se sitúan por encima de los veinte días.

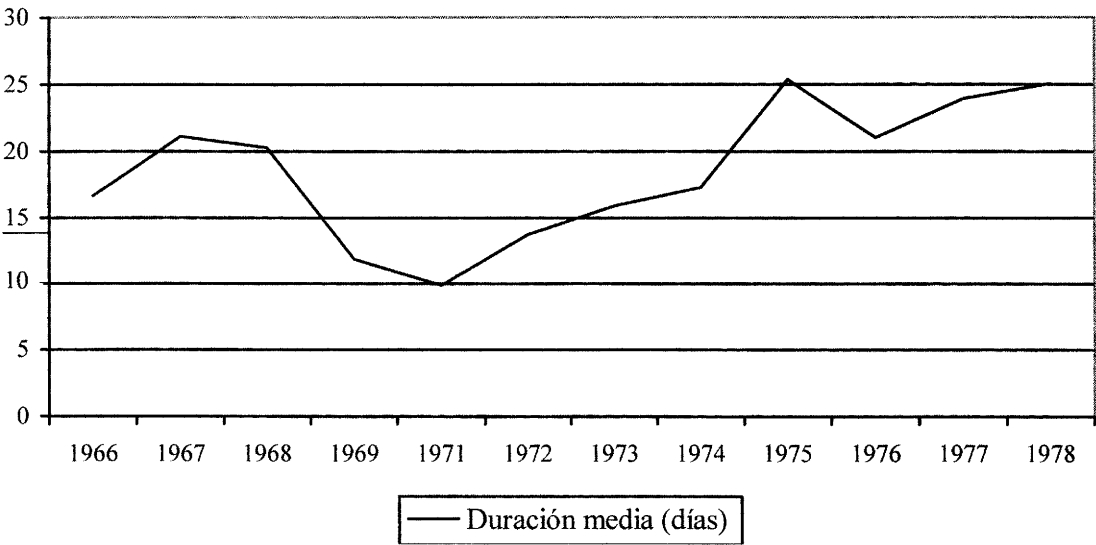
Al analizar la evolución de los “turnos” en años de la etapa 1966-1978, comprobamos que aumenta y disminuye el número de días que comprenden, aunque, en general, lo primero tiene lugar a partir de mayo-junio y lo segundo al llegar el otoño. Esto nos lleva a señalar otra característica importante de los “turnos” de ese periodo: las variaciones en su duración. De hecho, en algunos casos las diferencias entre los “turnos” de más días y los que abarcan menos son significativas, aunque en la mayoría de los casos se sitúan por debajo de los 10 días. Un factor fundamental para explicar ésto es la necesidad de agua de riego (no sólo la disponible). Así, los mayores intervalos entre riegos se alcanzan entre julio y septiembre, pero especialmente en agosto y septiembre, al ser ésta la etapa de mayores necesidades de agua de riego de la platanera.

No debemos olvidar, sin embargo, que no se especificaba la cantidad de agua (tiempo de riego) que correspondía a los terrenos, y esta falta de limitación, especialmente en una situación de “demanda” elevada, hacía que el consumo individual fuese considerable, lo que contribuía a alargar los “turnos”. Asimismo, daba lugar que no se pudiese determinar con suficiente antelación cuándo se iba a acceder al agua (véase también 11, p. 53). El tiempo que transcurría desde que el recurso hídrico se suministraba en un punto hasta que llegaba a los terrenos de un agricultor determinado variaba según, como factor más directo, el tiempo empleado por cada uno de los anteriores, que a su vez dependía de diversos factores (necesidades, agua disponible...), lo que hacía muy difícil calcular cuándo se iba a regar. Esto, obviamente, llevaba a considerables pérdidas de tiempo. Por las mismas razones, una vez regado un terreno tampoco se sabía cuándo se volvería a regar (véase también 19, p. 152).

3. Se expresa en pipas, cada una equivalente a 480 litros.

4. En este caso empleamos tal término en el sentido de Rigau (13, p. 9): “Los turnos son los periodos de tiempo que van desde el inicio de dos mojaduras. Cada distribución de agua en un terreno se llama mojadura”.

Gráfico 1: Duración de los turnos (1966-1978)



En los ochenta, se introducen significativos cambios en la asignación del recurso hídrico y en su distribución, que tienen su origen en el acuerdo tomado por los regantes en la junta celebrada el 27 de noviembre de 1983, concretado en otra de diciembre de 1985. A grandes rasgos, la cantidad de agua que corresponde a cada unidad de superficie básica (el celemín) se establece teniendo en cuenta el recurso hídrico disponible de los manantiales y la superficie inscrita en la Comunidad. El resultado de la operación realizada aparece reflejado en pipas/celemín cada 15 días (cantidad en la que, desde hace unos años, también se incluye la correspondiente al agua almacenada en el embalse de Adeyahamen), que se convierten, dado un caudal fijo, en minutos/celemín, pues así se facilita su distribución. Es, pues, a partir de entonces cuando realmente se asigna el agua en proporción a la superficie de los terrenos de riego propiedad de cada comunero. Se fija y limita en cada campaña la cantidad (expresada en tiempo de riego) que puede emplear cada regante.

En la etapa 1991-1996 (Tabla 1) se asignaron entre 45 (mínimo) y 60 (máximo) pipas/celemín (media: 50,50 pipas/celemín), es decir, entre 494,27 y 659,03 m³/ha (media: 554,68 m³/ha). En medidas de tiempo,

que son las que se tienen en cuenta para llevar a cabo la distribución del agua, se han concedido entre 15 y 20 minutos/celemín.

Tabla 1
Agua asignada (1991-1996)

| Año | Pipas/celemín | Minutos/cel | m³/ha |
|------|---------------|-------------|--------|
| 1991 | 48 | 16 | 527,22 |
| 1992 | 54 | 18 | 593,13 |
| 1993 | 45 | 15 | 494,27 |
| 1994 | 48 | 16 | 527,22 |
| 1995 | 48 | 16 | 527,22 |
| 1996 | 60 | 20 | 659,03 |

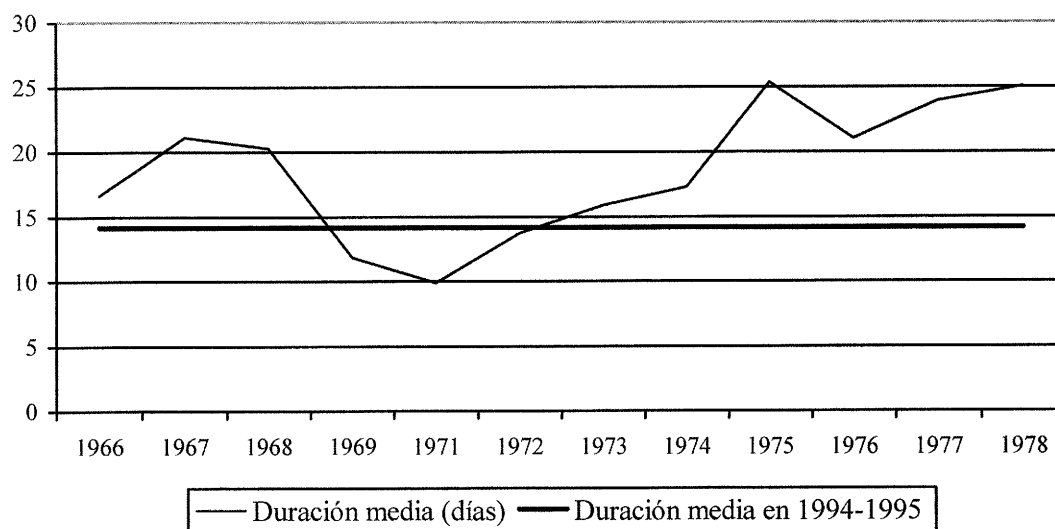
Fuente: Comunidad de Regantes. Elaboración propia.

También se fijó el caudal de riego en 180 pipas/hora, que equivalen a 86,40 m³/hora o 24 litros/segundo. Hasta hace poco tiempo ⁵, éste era el “chorro” establecido para regar. Otra cosa es que en la práctica, tal caudal coincidiera con el acordado, lo que, como pudimos comprobar, no siempre ocurre.

Asimismo, se estableció que la duración de los “turnos” fuese de 15 días, aunque no son muchas las veces,

5. Decimos esto porque en los últimos años se ha estado regando con caudales mayores, aunque en el 2000 se ha vuelto a regar con 180 pipas/hora.

Gráfico 2: Duración comparada de los turnos



por diferentes motivos en los que no vamos a entrar, en las que se alcanza esa duración. Durante la etapa de trabajo de campo fue muy frecuente el riego cada 12 ó 13 días. En el verano de 1994, por ejemplo, casi todos los “turnos” se situaron entre los 12 y los 14 días. Según el seguimiento realizado en una finca, la media fue de 13,33 días. En 1995, en cambio, la mayor parte de ellos alcanzó los 15 días (fue un año “seco”). Nos encontramos, pues, ante intervalos entre riegos que, por lo general, comprenden menos días que en el pasado (gráfico 2). Asimismo, también son más regulares, es decir, existen menos diferencias en la duración (días) de los “turnos” de una etapa de riego determinada. En 1994, por ejemplo, la máxima se cifró en tres días.

En la actualidad, los agricultores sí saben, por lo general, el día y aproximadamente la hora de riego, lo que se relaciona con la limitación del tiempo disponible para regar. Saber con exactitud cuándo se va a acceder al recurso hídrico sigue siendo difícil por distintas razones (p. ej., las variaciones en el tiempo empleado para regar los anteriores terrenos), lo que hace que aún se produzcan algunas pérdidas de tiempo, aunque no pueden compararse con las existentes en la etapa anterior. Es por ello que para muchos regantes sería deseable introducir un sistema en el que se fijase el día y el periodo de riego (hora de inicio y hora de

finalización), que, tras haberse propuesto a los comuneros en una reciente junta, ha sido rechazado. En resumen, el momento de acceso al agua resulta, en la actual asignación-distribución, más previsible, lo que es destacado como positivo por los entrevistados.

Resultados

Uso del agua

Algunas características de la asignación-distribución del agua de riego en el pasado y sus implicaciones, ya analizadas brevemente, no incentivaban un buen uso de tal recurso. Desde una perspectiva económica se podría remarcar como factor importante para explicar esto el hecho de que las cantidades que pagaban (y pagan) los agricultores a la Comunidad estuviesen basadas en la superficie de riego y fuesen independientes del volumen consumido, no entrando, por lo tanto, el coste asociado a éste en sus decisiones sobre la utilización de tal recurso. No creemos que se pueda ignorar este factor, pero tampoco acentuar, como se hace a veces, sin considerar muchas otras variables de diferente naturaleza que son básicas para comprender el uso que del agua hacen los agricultores. Si procedemos así, damos prioridad a la dimensión más estrictamente económica de las decisiones sobre el empleo de

tal recurso y corremos el riesgo de no entender bien o de forma más completa por qué se emplea de un modo y no de otro. En nuestro caso, las pérdidas de agua ligadas a su manejo en las parcelas (pérdidas superficiales) o a la aplicación de una cantidad excesiva eran resultado de algunas de las principales características de la asignación-distribución, destacando en este caso la no fijación de la cantidad (tiempo de riego) correspondiente a los terrenos y de sus implicaciones (largos intervalos entre riegos...). En tal contexto, los regantes no poseían, en general, incentivos para economizar agua, lo que significaba que ésta volvería más rápidamente, pues no había un tiempo de riego limitado y, por esta misma razón, tampoco se sabía qué iban a hacer los demás (véase también 11, pp. 89-90). Asimismo, en una situación en la que los agricultores no sabían cuándo podían regar sus terrenos resultaba comprensible que aplicasen, al corresponder el turno, la mayor cantidad posible de agua para compensar su falta si tardaba en volver (ver también 16, p. 667; 1, p. 345; 15, pp. 54-55). En resumen, tal y como funcionaba y estaba organizado el reparto del agua era difícil lograr un buen manejo y un uso eficiente en las parcelas, pues ello no sólo depende de la pericia del regante, en el caso del riego superficial (6, p. 190), sino también de las condiciones en las que recibe tal recurso ⁶.

En la actualidad, la limitación del tiempo de riego ha contribuido a mejorar el uso que del agua hacen los regantes. Ahora, en general, éstos tienen incentivos para economizarla (véase 11, p. 90). Así, cuando uno accede al recurso hídrico sabe, por un lado, que ha de procurar (salvo que no le resulte, por diferentes razones, escaso) reducir al mínimo las pérdidas existentes en el interior de las parcelas o en los elementos infraestructurales (de uso individual) que conducen tal recurso a éstas, y, por otro, que no puede demorarse en la aplicación, pues cuenta con un tiempo limitado para

regar. Esto ha llevado a introducir cambios notables en las parcelas. En tal sentido, en aquellas en las que las “calles” (unidades de riego) eran largas sus propietarios procedieron a reducirlas mediante una atarjea adicional que divide el terreno en dos secciones. También se han introducido canales hechos con bloques de hormigón en parcelas que sólo contaban con acequias (conducciones de tierra) para la distribución interna del agua, pues en éstas son mayores las pérdidas y, por lo tanto, el tiempo necesario para regarlas completamente. Otros agricultores “dieron” más pendiente a aquellos terrenos que, tal y como estaban, requerían demasiado tiempo para ser regados. Por último, aquellos regantes con mayor capacidad de inversión han ido instalando en sus parcelas sistemas de riego por aspersión.

En suma, la limitación del tiempo de riego ha incentivado, en general, la adopción individual de diversas medidas, desde las más simples a las más complejas y costosas, para aprovechar mejor, dada su escasez, el agua disponible. Así pues, el racionamiento de ésta y un mejor conocimiento sobre su llegada han otorgado a los agricultores incentivos para una buena gestión y un uso eficiente de este recurso en las explotaciones (véase 9, p. 347) ⁷.

Producción

La larga duración de los periodos que se alcanzaban entre una aplicación y otra, corriente en el pasado (especialmente en los años más “secos”), tenía importantes consecuencias en el rendimiento de los cultivos. No contamos con datos de producción que nos permitan analizar cuantitativamente esta cuestión, pero sí con la información proporcionada por las numerosas entrevistas realizadas a agricultores (algunos de los cuales trabajaban además en almacenes de plátanos) entre 1991 y 1995. En tal sentido, todos los entrevista-

6. Replogle (14, p. 119) señala, en este sentido, que para mejorar la gestión del agua en las explotaciones es fundamental mejorar el suministro de ese recurso.

7. Seagraves y Easter (16, p. 671) también destacan la importancia del racionamiento, aunque refiriéndose a la asignación del recurso hídrico: “Si el agua pudiese hacerse igualmente escasa para todos los agricultores, tendrían incentivos para asignarla tan bien como si tuviese precio”.

dos hacen referencia a las negativas consecuencias del turno convencional, sobre todo en los años de mayor escasez, para la producción platanera, tanto en lo que se refiere a su cantidad (racimos o “piñas” de menos peso) como a su calidad (fruta, en general, de peor calidad que en la actualidad). Esto resulta completamente lógico si tenemos en cuenta que la platanera no soporta bien la falta de agua (ver 8, pp. 68-71; 2, pp. 99-100), lo que se producía sobre todo por los días que transcurrían entre una aplicación y otra. La existencia de “turnos” de más de 20 días en pleno verano (cuando más se necesita el agua) era más o menos perjudicial dependiendo de diversos factores. En tal sentido, ciclos de este tipo eran más negativos en aquellos terrenos de platanera ubicados en zonas especialmente afectadas por la acción del viento, más calurosas, y en “tierras flojas”, es decir, cuyos suelos tienen escasa capacidad de retención del agua. Donde las tierras eran “fuertes” (gran capacidad de almacenamiento), la excesiva duración, dentro de unos límites, de los ciclos de riego resultaba menos dañina, pudiendo lograrse, según algunos informantes, mejores rendimientos.

Ahora bien, la producción de la platanera también se veía indirectamente afectada por los problemas en la distribución, pues éstos incidían de forma negativa en el uso de otros *inputs*, concretamente de los fertilizantes ⁸.

La producción (peso y calidad de la fruta) mejora notablemente con la asignación-distribución que comienza a funcionar en la segunda mitad de los ochenta, teniendo que destacar la existencia, a partir de entonces, de ciclos de riego de un máximo de 15 días y la posibilidad de saber aproximadamente cuándo se regará, debido, sobre todo, a la limitación de la cantidad (expresada en tiempo de riego) asignada a los terrenos según su superficie. Ahora, la frecuencia de riego se ajusta más a los requerimientos de la platanera y, además, los agricultores pueden programar mejor

que en el pasado las labores a realizar en las explotaciones, lo que también ha repercutido positivamente en el rendimiento. Si nos centramos en el peso de la fruta (racimos o “piñas”) como indicador, hay que señalar que los agricultores entrevistados hablan, en su mayor parte, de incrementos medios, refiriéndose a sus propias explotaciones, situados entre 5 y 10 kilogramos/racimo.

En resumen, la adopción de una nueva forma de asignación-distribución ha contribuido decisivamente a mejorar el rendimiento de la platanera (y de otros cultivos de los que no hemos podido ocuparnos) en la zona, lo que fue destacado (en mayor o menor medida) por los agricultores entrevistados, incrementando los beneficios obtenidos de estas explotaciones.

Conformidad y conflictividad

Para hacer frente a los problemas de la asignación-distribución del agua vigente hasta entrados los ochenta, los regantes adoptaban una serie de medidas que, con frecuencia, iban contra lo dispuesto en las Ordenanzas o acordado, es decir, infringían las reglas. Sin duda, la infracción más corriente era el robo de agua, mediante el que los regantes trataban de atender, aunque sólo fuese de modo parcial, los requerimientos hídricos de determinados cultivos ante la imposibilidad de satisfacerlos “legalmente” (cuando correspondiese regar o en cualquier otro momento en el que la Comunidad suministrase ese recurso). Robar agua, pues, era, en determinadas circunstancias, una *necesidad*; en otras palabras, una acción indispensable para salvar cultivos fundamentales para la subsistencia (el caso más claro es el de las papas) y, en menor medida, para que no disminuyese demasiado el rendimiento de otros de los cuales se obtenían ingresos (éste es el caso de la platanera). Su existencia constituía el reflejo de que la Comunidad de Regantes, con el sistema de reparto en funcionamiento y bajo ciertas condiciones,

8. Como nos decía un informante: “Antes ni podías echar el güano ni nada, porque no sabías ni cuando llegaba el agua”. Según otro: “[...] no podías abonar [...], qué abonabas, si abonabas y luego venía el agua a las tantas y el sol ahí, eso quemaba [...]”.

era incapaz de satisfacer las necesidades de los cultivos que había en la zona regable. La disconformidad con el funcionamiento del sistema, sobre todo en aquellos años caracterizados por una mayor escasez de agua, situación en la que se manifestaban con claridad todos sus problemas, era elevada. Por ello no debe resultar extraño que hubiese conflictos de diversa naturaleza y gravedad (entre regantes particulares, entre éstos y los encargados de la distribución, entre grupos de regantes...), pudiendo hablar, a veces, de un sistema de irrigación caracterizado por su tensión interna.

Con el procedimiento que comienza funcionar en la segunda mitad de los ochenta cambia este panorama. Ahora, como ya se ha indicado, los regantes se muestran, en términos generales, conformes con la forma de asignar y distribuir el agua de riego, especialmente cuando recuerdan lo que sucedía hasta no hace demasiado tiempo. En tal sentido, el reparto del agua se ajusta más a lo que los agricultores consideran adecuado para la platanera, aparte de reunir otras características vistas como positivas para los cultivos y para ellos mismos (se pierde menos tiempo, se ha podido añadir agua a la que concede la Comunidad...). De hecho, y, en buena medida, como reflejo de ello (ver 1, p. 345; 17, p. 176), los robos de agua son raros. Asimismo, ha desaparecido la conflictividad de épocas pasadas, lo que no significa, evidentemente, que no haya problemas.

Resumen y conclusiones

En este trabajo hemos analizado los cambios introducidos en la asignación y la distribución del agua de riego en la Comunidad de Regantes de Los Sauces, prestando especial atención, tras su descripción, a algunos de sus resultados más significativos. Teniendo en cuenta éstos, sólo se puede señalar que tales cambios, sobre todo la limitación de la cantidad (expresada en tiempo de riego) correspondiente a cada finca, han sido positivos. En este sentido, ha mejorado el uso del agua, ha aumentado el rendimiento de la platanera y se han reducido los niveles de tensión y conflictividad.

La puesta en marcha de la forma de reparto actual no fue sencilla ni poco costosa. Lo primero porque resultaba completamente novedosa. Aparte, y por cuestiones en las que no podemos introducirnos, requirió apoyo político (véase 10, pp. 41, 53, 54). Implicó, además, importantes costes debido, por un lado, a la necesidad de mejorar la infraestructura hidráulica (se ha pasado de distribuir el agua por acequias y atarjeas a hacerlo, principalmente, por tuberías) y a la contratación de personal para la distribución del agua (véase 10, pp. 41, 48-50, 54).

Estudios de este tipo ponen de manifiesto que muchos problemas corrientes en los sistemas de riego (excesivo consumo de agua, baja producción, desigual reparto de beneficios, alta conflictividad...) dependen, en buena medida, de la asignación-distribución del agua. El hecho de destacar esto no significa que factores como los métodos de riego, la infraestructura hidráulica, los sistemas tarifarios, la preparación de los regantes, etc. no tengan importancia para explicar y solucionar aquéllos, entre otras cosas porque están relacionados unos con otros. Pero poco se puede conseguir en lo que se refiere, por ejemplo, al rendimiento de los cultivos mediante la introducción del riego por aspersión o con una buena red de canales si el procedimiento de suministro en funcionamiento no permite que un agricultor riegue sus cultivos cuando lo necesitan, sometiéndolos a situaciones de déficit hídrico.

En suma, consideramos que el logro, en el marco del regadío, de mejores resultados en términos económicos, sociales y ecológicos pasa por mejorar la asignación y/o los procedimientos de distribución del agua de riego (lo que llama Bromley [5, p. 72] *intensificación*), sin dejar de lado la contribución o la dependencia de otros factores relacionados (p. ej., para introducir determinados sistemas de reparto hay que contar con cierta infraestructura). Se trata, en definitiva, de “ganar”, en diferentes sentidos, con una misma cantidad de agua, aunque mejor suministrada y ello significa prestar especial atención a todo lo relacionado con la gestión.

Bibliografía

- ABEL, M.E. 1976. "Irrigation systems in Taiwan: management of decentralized public enterprise". *Water Resources Research*, 12(3): 341-348.
- ÁLVAREZ DE LA PEÑA, F.J. 1981. *Cultivo de la platane- ra*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Ali- mentación.
- ANDERSON, R.L. Y A. MAASS. 1985. *Un modelo de simulación para sistemas de regadío. Los efectos del suministro y de los procedimientos operativos de distribución del agua en la producción y en las rentas de las explotaciones de regadío*. Madrid-Salamanca: Centro Superior de Investigaciones Científicas, Centro de Edafología y Biología Apli- cada de Salamanca.
- BATISTA MEDINA, J.A. 1999. "La agricultura de regadío en una comunidad del NE de La Palma (Islas Cana- rias): Los Sauces". En GARRABOU, R. Y J.M. NARE- DO (eds.). *El agua en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. Madrid: Argenteria-Visor, pp. 317-338.
- BROMLEY, D. 1982. *Improving irrigated agriculture. Institutional reform and the small farmer*. Was- hington, D.C.: The World Bank.
- FUENTES YAGÜE, J.L. 1992. *Técnicas de riego*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- HOOGENDAM, P., A. VAN DEN DRIES, J. PORTELA, M. STAM Y J. CARVALHO. 1996. "From allocation to distribution. Operational rules in a communal irri- gation system in northern Portugal". En DIEMER, G. Y F.P. HUIBERS (eds.). *Crops, people and irrigation. Water allocation practices of farmers and engine- ers*. Londres: Intermediate Technology Publica- tions, pp. 101-115.
- IBERPLÁN. 1972. *Aspectos estructurales del sector platanero de Canarias*. Las Palmas de Gran Cana- ria: CIES de la Caja Insular de Ahorros (boletín n° 13).
- KELLER, J. 1986. "Irrigation system management". En NOBE, K.C. Y R.K. SAMPATH (eds.). *Irrigation management in developing countries. Current issues and approaches*. Boulder: Westview Press, pp. 329-352.
- LEVINE, G., L.T. CHIN Y S.M. MIRANDA. 1976. "Requi- rements for the successful introduction and mana- gement of rotational irrigation". *Agricultural Water Management*, 1: 41-56.
- MAASS, A. Y R. L. ANDERSON 1978. *...and the desert shall rejoice. Conflict, growth, and justice in arid environments*. Cambridge: MIT Press.
- MARTIN, E.D. Y E. YODER. 1987. *Institutions for irri- gation management in farmer-managed systems. Examples from the hills of Nepal*. Colombo: Inter- national Irrigation Management Institute. IIMI Research Paper, 5.
- RIGAU, A. 1986. *Teoría y práctica del riego*. Barcelo- na: Sintesis.
- REPLOGLE, J.A. 1986. "Some tools and concepts for better irrigation water use". En NOBE, K.C. Y R.K. SAMPATH (eds.). *Irrigation management in develo- ping countries. Current issues and approaches*. Boulder: Westview Press, pp. 117-148.
- SÁNCHEZ LÓPEZ, F. 1985. "Un modelo de simulación para sistemas de regadío: introducción". En ANDERSON, R.L. Y A. MAASS. 1985. *Un modelo de simulación para sistemas de regadío. Los efectos del suministro y de los procedimientos operativos de distribución del agua en la producción y en las rentas de las explotaciones de regadío*. Madrid-Salamanca: Centro Superior de Investigaciones Científicas, Centro de Edafología y Biología Apli- cada de Salamanca, pp. 13-85.
- SEAGRAVES, J.A. Y K.W. EASTER. 1983. "Pricing irri- gation water in developing countries". *Water Resources Bulletin*, 19(4): 663-672.
- VANDERMEER, C. 1971. "Water thievery in a rice irri- gation system in Taiwan". *Annals of the Associa- tion of American Geographers*, 61: 156-179.
- VARISCO, D.M. 1983. "Sayl and Ghayl: the ecology of water allocation in Yemen".

Un modelo intertemporal de explotación económica en régimen de monopolio de un embalse para riego

► **Pedro J. Cartagena Rocamora**

Becario de la Cátedra del Agua y del Medio Ambiente de INUAMA-Cajamurcia

La definición de la situación-problema¹ y desarrollo del modelo

Se presenta ahora la situación de gestión económica (\Leftrightarrow búsqueda de rentabilidad directa o indirecta, en las producciones derivadas) a la que se enfrenta el explotador para realizar inmediatamente después el análisis siguiendo los árboles de decisión elaborados para la toma de decisión del agente-explotador.

La gestión privada² de una obra hidráulica como un embalse de aguas superficiales en el ámbito español ha sido infrecuente tras el fracaso³ que experimentó dicha fórmula de gestión, fomentada en la legislación de aguas a partir de 1866 gracias a la influencia del liberalismo económico, y la asunción en materia hidráulica de la intervención pública propuesta por el regeneracionismo. Se abre, de nuevo, esta posibilidad gracias a la figura⁴ de la concesión de obra y/o servicio en la

1. Dicho problema está basado en el propuesto por Conrad J. M. en (1) Azqueta y Ferreiro (eds.) (1994, pág. 125), aquí se desarrolla y analiza con mayor exhaustividad, amplitud.

2. Cuando a lo largo del texto se hable de gestión privada no se entiende la realizada por los propios usuarios, en tal caso la gestión se considera institucional, pues son comunidades de regantes o de usuarios (de primer o segundo grado) las que explotan tales infraestructuras. Dichas comunidades se consideran legalmente como corporaciones de derecho público con potestades de administración pública en su ámbito, tuteladas por la administración hidráulica. Esta comunicación analizará en concreto la gestión privada en condiciones de monopolio. Por otra parte, no se trata aquí de los múltiples embalses de pequeña regulación de la red secundaria de distribución del agua sino de los grandes embalses reguladores hiperanuales, ya que son éstos se ajustan al modelo descrito por cuanto permiten el control durante varios periodos temporales de los caudales almacenados y los captan directamente. Estos pequeños embalses dependen de otras captaciones primarias ya que no captan por sí mismos los recursos, salvo aquellos que embalsan aguas subterráneas.

3. Decir que fue por la insuficiencia del capital privado para promocionar el desarrollo agrario español sería quedarse, en parte, en la consecuencia. La causa habrá que buscarla en la rentabilidad real que ofrecían dichas obras hidráulicas dentro de un sistema institucional en el agua aún no apto para tal innovación, a pesar de la incentivación liberal, en un sistema económico subdesarrollado y con un estrecho potencial en valor añadido de los productos, o sea con mercados de productos estrechos. Todo ello también refuerza la existencia de mercados de capitales estrechos y falta de inversores privados. Un ejemplo del complejo marco institucional sería el caso de la concesión por obra y servicio del embalse de Puentes, en el río Guadalentín. A la misma se imponen condiciones como precios controlados, obligación de mantener una reserva de agua para su venta a los heredamientos existentes mientras el resto podía ser vendida a los nuevos regadíos, y respeto en la captación de los derechos privados de agua previos tanto de particulares como de "turbias" o de avenida. En cambio, la iniciativa privada tuvo éxito en el aprovechamiento privado hidroeléctrico.

4. El Contrato de construcción y explotación de obras hidráulicas fue introducido por la Ley 13/1996 de Medidas Fiscales, Administrativas y de Orden Social y en la legislación sectorial, en materia de aguas, por la regulación de la obra hidráulica en su reforma por la Ley 46/1999, de 13 de diciembre.

infraestructura hidráulica (y otras obras) que incluso pueden ser concedidas directamente, o también por encomienda de gestión, a los propios usuarios, aspecto que también será de nuestro interés. No obstante, es de esperar que la concesión se otorgará más en las obras de transporte, para las obras de regulación, como es un embalse, es difícil que se ceda el control de explotación público actual⁵.

Es en Chile donde un modelo, si bien simple, como el aquí planteado tendría el marco institucional más idóneo. Allí el agua se considera como bien nacional (dominio público o eminente) pero la administración hidráulica otorga muchas más potestades en el ejercicio del derecho de uso al poseedor de licencia o concesión, por ejemplo, éstas se otorgan a perpetuidad y sin orden de prioridad.

La resolución expuesta para el modelo es ampliable *mutatis mutandis* al caso de las aguas subterráneas, ámbito donde sí es frecuente la explotación privada, tomando el acuífero como embalse⁶. El ámbito de decisión privado ha sido y es más extenso por su consideración como aguas privadas por la Ley de Aguas 1866-1879 y la continuidad de su estatuto por el amparo de la actual Ley de Aguas. En contra de lo esperado, no es fácil encontrar situaciones, de magnitud significativa, representadas por el modelo aquí presentado⁷, por la

situación más generalizada de múltiples aprovechamientos de iniciativa privada independientes y fundamentalmente de autoconsumo sobre cada acuífero.

El modelo expuesto en esta comunicación persigue ofrecer una serie de indicaciones que posiblemente orientarían las operaciones de desembalse por parte de un monopolista a lo largo del tiempo frente a una demanda agraria en la perspectiva del precio del agua. La elección de un monopolista no es una impropiedad sino precisamente es la situación natural en la oferta de recursos hídricos consecuencia del libre mercado, si bien no es tampoco la definitiva por cuanto los avances tecnológicos pueden facilitar la competencia en la producción de agua. Esto ha justificado la intervención pública en dicha actividad de un modo u otro, con más motivo en la atención del regadío dado su mayor consumo.

Se plantea la maximización del valor presente esperado de la corriente de beneficios obtenidos de la explotación privada en monopolio de las aguas acumuladas en un embalse en el horizonte temporal de 3 períodos. Marco temporal que no es lo suficientemente extenso como para que las condiciones de la demanda de agua para riego por parte de los agricultores varíen significativamente. Se puede considerar que el explotador se enfrenta a una curva inversa de demanda de agua estática⁸ durante todo este horizonte.

5. Dado, generalmente, su multifuncionalidad, importancia en el funcionamiento de todo el sistema hidráulico e interés social. Dicha explotación se articula por órganos representativos como la Comisión de Desembalse, encargada de formular propuestas al Presidente del Organismo de Cuenca sobre el régimen de llenado y vaciado de los embalses de una cuenca. En el caso del Segura hay una única Comisión de Desembalse (con presencia de un representante de los usuarios agrícolas del regadío tradicional y otros de las administraciones públicas cuyos usos están vinculados a la explotación de los mismos) y donde los embalses están coordinados bajo una Junta de Explotación dada la interrelación en funcionamiento hidráulico existente.

6. En la explotación de las aguas subterráneas existe más incertidumbre dado el mayor desconocimiento, en general, sobre la dinámica de recarga y la capacidad de almacenamiento.

7. Para profundizar en el análisis económico de las explotaciones de aguas subterráneas, véase los trabajos de autores como Martínez Gallur, C.; Tobarra Ochoa, P.; y Castro Valdivia, J.P. entre otros; por ejemplo, puede verse "Modelo de gestión de un acuífero" en (1) Azqueta y Ferreiro (eds.) (1994, capítulo 13).

8. Por ejemplo, que la superficie cultivable permanece constante en tal plazo y los precios de los mercados agrarios. Si se hiciesen previsibles alzas de precios futuras existiría un mayor coste de oportunidad temporal sobre la explotación actual. Los modelos con incertidumbre se han ampliado incorporando variables aleatorias referidas a este tipo de cuestiones, aquí solamente se trata la incertidumbre sobre el stock del recurso. Por esto en nuestra función de beneficios no se recoge su efecto sino tan sólo el efecto de una mayor oferta de caudal para riego, que se refleja en un crecimiento menor de los beneficios con el aumento del caudal desembalsado, o dicho de otra manera, los beneficios medios caen. Esto se tratará en el análisis de los esquemas/árboles de decisión. Se habla de curva de demanda inversa por depender el precio de la cantidad de agua, cuando lo natural es que la relación causal sea la contraria. Cabe señalar que el valor de la elasticidad de la demanda con respecto al precio, la reacción porcentual de la cantidad ante un cambio porcentual en el precio, provocaría que los precios fuesen más elevados pues la mayor dependencia del agua provoca que aumentos o disminuciones de la cantidad ofrecida sean absorbidos rápidamente o no cueste renunciar por las necesidades existentes sin cambio relevante en el precio (poca adaptabilidad del consumo). En el caso de la demanda lineal invertida como la que se recoge en la figura 1, la mayor elasticidad implicaría mayor verticalidad de dicha recta.

Si el beneficio⁹ de la actividad de explotación del embalse en cualquier período se representa por $B_t = \ln(1 + Y_t)$ para mejor manejo del problema, siendo la función inversa de demanda de agua de riego¹⁰ $P(Y_t) = c/Y_t + 1$ y de costes de explotación $C(Y_t) = c$.

$$B_t = \ln [1 + (P(Y_t)Y_t - C(Y_t))] = \ln [1 + Y_t]$$

La función de beneficios real sería una transformación¹¹ monótona del valor monetario de los mismos, con un ajuste para que cuando $Y_t = 0$ sea $B_t = 0$ también.

El explotador opera con costes marginales nulos¹² y altera, por ser monopolista, el precio con la puesta en el mercado de una cantidad de recurso u otra, situación monopolística o donde al explotador del embalse no le influye el comportamiento de otros oferentes del recurso caso de haberlos. Su única preocupación es si la decisión de colocar una cantidad u otra es acertada en la dimensión temporal de ofrecer agua ahora o más tarde y en qué cantidad en cada

momento. El explotador-monopolista no incurre en pérdidas cuando no extrae. A pesar de que existen costes fijos, éstos se pagan siempre (tanto de la obra como aquellos relacionados con el mantenimiento mínimo de las instalaciones). Este supuesto no es tan irrealista como parece ya que, realmente, se está hablando de precio del recurso, del valor económico de éste¹³. Es independiente de sufragar la infraestructura hidráulica del servicio; de hecho, dicha inversión y gastos se amortizan y sufragan aparte como así se estipula en los casos de las concesiones de obras hidráulicas a empresas privadas. La diferencia en nuestro caso es que no hay intervención administrativa de las tarifas¹⁴ que solamente permite un margen de beneficio industrial fijado y por tanto nuestro explotador puede ofrecer el recurso entre los usuarios atendiendo a las posibles condiciones que influyen sobre su valor de escasez.

El estado de la presa en cualquier período t se puede describir como “vacío” ($X_t = 0$), “medio” ($X_t = 1$) o “lleno” ($X_t = 2$). Este sería el conjunto de valores

9. Formulado genéricamente como $B_t = B_t(X_t, Y_t)$ que nos indica que el beneficio en el período t depende de las existencias del recurso X_t y de la extracción realizada Y_t . La última es la llamada variable control, en este caso, la cantidad de agua desembalsada; mientras X_t , se conoce como la variable estado, e influye también sobre los beneficios por cuanto el valor de la extracción Y_t depende de las mismas existencias de agua que a su vez cambian por el mismo Y_t y por las precipitaciones (para lo que se considerará la variable estocástica de recarga R_t) como se verá en la ecuación de movimiento.

10. Técnicamente, se habla de la demanda de agua para usos, distintos de su consideración como bien consumo, como demanda derivada. Con esta demanda el valor del agua deriva de su contribución como input en productos. Lo que implica que los mercados de productos dependientes, como los de los productos agrarios, son estables y por tanto para cada curva de demanda viene determinada por el conjunto de precios de equilibrio (a precios internacionales) en estos mercados.

11. Relaciona los m³ de desembalse y los beneficios obtenidos en cientos de millones de ptas. por ejemplo, en dicha función no aparece en la expresión final el precio del agua explícitamente sino subsumido en ella junto con los costes de explotación.

12. Simplificación, se desprecia la influencia de los costes variables pues interesa el comportamiento frente al precio y la búsqueda de rentas económicas. También es coherente con la existencia de economías de escala que junto con la existencia de importantes costes fijos y hundidos o irreversibles permiten alcanzar una situación de monopolio en el mercado.

13. Según la economía neoclásica cuando un bien comienza a ser escaso se convierte en un bien económico, existen costes de oportunidad en su uso o no uso.

14. No obstante, sufragar dichos costes fijos de la explotación no sería aceptada sin el suministro de un mínimo de agua a los usuarios. En este caso el oferente y también en el caso de no existir dicho contrato entre los usuarios y el concesionario que estipule tal condición de suministro tendrá que ofrecer una cantidad mínima de recurso ya que de lo contrario incurriría en menores beneficios o en pérdidas por la reducción de clientes si éstos no son reemplazados fácilmente. Dicha regulación del precio básicamente consiste en el control de los incrementos y permitir aquellos que estén justificados en el crecimiento de los costes de producción. Si bien reduce o controla el poder de mercado del explotador, en situaciones de no restricción de oferta fomenta el consumo con el objetivo de mejorar los beneficios aumentando la cantidad de recurso gracias a la caída del coste unitario o medio de producción y el precio garantizado frente a su caída dada la general inelasticidad de la demanda. Se incentiva el consumo presente frente al futuro y aumenta la inestabilidad intertemporal de la oferta, con más razón si la actividad de captación es pública y está disociada de la distribución, aunque dicho incentivo estaría limitado por la responsabilidad del servicio público que suministra (su garantía). En el caso de considerar, cosa que aquí no hemos hecho, cambios de demanda que hagan variar el precio de mercado a lo largo del tiempo se ha postulado que un control (tarifa) sobre el precio del recurso provoca que el proceso de extracción sea más rápido, al mismo ritmo, o más lento dependiendo de si la diferencia descontada entre el precio de mercado (en alza) y el precio con control se incrementa, no cambia, o decrece a lo largo del tiempo (5) Surís J. y Varela M. (1995, pág. 123). Véase también nota a pie de página 32 sobre los diferentes conceptos de pago del agua por los usuarios.

que puede tomar la variable estado¹⁵. En cualquier periodo de tiempo se puede liberar agua para el riego hasta el tope de la cantidad almacenada, de este modo:

$$Y_t \in \Psi = \{0, 1, 2\}$$

Con la restricción $Y_t \leq X_t$.

Después de la temporada de riego, pero antes del inicio del período siguiente, existe la posibilidad de una recarga R_t . En función de la climatología del lugar se obtiene una estadística sobre la pluviometría de la que se infiere las probabilidades de recarga para cada período. Por simplificar, la recarga se caracteriza con valores indicadores¹⁶ al igual que se hizo con la variable estado: $\Pr(R_t = 0) = 1/3$; $\Pr(R_t = 1) = 2/3$; y $\Pr(R_t = 2) = 0$.

La ecuación de movimiento particular es,

$$X_{t+1} = \min [X_t - Y_t + R_t, 2]$$

Esta ecuación indica que la presa en el periodo $t+1$ no puede estar más que llena pues como mucho el valor de X_{t+1} será 2. El agua que se desembalsa fuera de la temporada de riego dada esta capacidad de regulación tendrá efecto económico nulo sobre los beneficios¹⁷.

Sintéticamente tendremos el siguiente programa:

$$\begin{aligned} &\text{Max } E \left[\sum_{t=0}^2 \rho^t \ln (1 + Y_t) \right] \\ &\text{s.a. } X_{t+1} = \min [X_t - Y_t + R_t, 2] \\ &X_t, Y_t = 0, 1, 2 \\ &Y_t \leq X_t \\ &X_0 \text{ dada} \\ &0 \leq t \leq 2 \end{aligned}$$

Donde $E(\Sigma)$ es el valor esperado del flujo de beneficios descontados o valor esperado actual de los beneficios.

Resolución del modelo

Vamos a encontrar cuál será la política de gestión óptima del embalse para los distintos X_0 que podemos encontrar ($X_0 = 0, 1, 2$), véase los árboles-decisión correspondientes en los cuadros finales.

El factor de descuento, según la expresión $\rho = 1/(1+\delta)$, sería $\rho = 1/1,1$ si la tasa de descuento escogida es $\delta = 0,1$. Si el coste de oportunidad del dinero en el tiempo, la tasa de descuento, es menor influye favorablemente en la conservación del recurso pero esto no será tan claro en nuestro problema ya que se dan otras consideraciones con más influencia.

Antes de continuar queda por comentar, brevemente-

15. Los dominios de valor de las variables de control y de estado están restringidos a conjuntos finitos (no son conjuntos compactos), por tanto, no sirven las condiciones que ofrece la diferenciabilidad. El método de resolución está más cercano a la investigación de operaciones y sus procedimientos heurísticos dentro del ámbito de la programación dinámica estocástica en tiempo discreto. Interesa conocer las directrices de la gestión y no tanto calcular la magnitud exacta del desembalse o extracción a realizar (o sea, la cantidad de agua “producida”). No se consideran más valores dado que las pretensiones de esta comunicación se cumplen con estos dominios. Estas simplificaciones sobre el dominio de valor de las variables nos permite considerar pocos valores de las variables relevantes que son consecuentes e indicativos para representar una variedad de distintas circunstancias de la gestión a afrontar de forma que sea manejable la toma de decisión y permita la visualización del modelo de gestión a través de árboles de decisión y comprender ciertas claves del desempeño óptimo del explotador.

16. $R_t = 0$, recarga nula o no significativa para la capacidad del embalse y sus pérdidas; $R_t = 1$, recarga media con respecto a la capacidad del embalse; y $R_t = 2$ recarga de la magnitud de llenado o por encima de su capacidad. La probabilidad de que en un período se llene el embalse, dada la importante capacidad de éste y la pluviometría, se considera nula, o bien, el período no es lo suficientemente largo; por tanto, es imposible que se recogieran en el embalse los hm3, por ejemplo, que indicaría dicho valor de recarga.

17. Realmente sí podría tener repercusiones sobre la demanda del período posterior y habría un coste intertemporal sobre las extracciones posteriores por la pérdida de beneficios máximos posibles con otra política. Esos caudales excedentes pueden ser aprovechados por los agricultores, incluso, afectando a la baja a los precios pagados por los agricultores ya que éstos habrían cubierto parte de sus necesidades y aumenta el coste de oportunidad sufrido por el explotador al mantener el almacenamiento con riesgo de generar excedentes. Esta cuestión queda fuera de las posibilidades del modelo, por no contemplar cambios en la demanda, aunque hace más sugerente el estudio analítico a riesgo de incrementar la complejidad caótica para la predicción del comportamiento del explotador y que haya que conformarse con entender el sistema de reglas que influyen en la decisión final sin tener certeza sobre su resultante “vectorial” a priori.

te, cómo se configura la política de control de retroalimentación óptima (*pcro*). Esta se sirve de la utilización del proceso de inducción hacia atrás para identificar *el valor óptimo* para la variable de control Y_t^* en cada período de tiempo desde $T = 2$ hacia $t = 0$. El cual se obtiene de la maximización de la llamada función valor en t , V_t , y dependerá de X_t . La podemos expresar como una función $Y_t^* = Z_t(X_t)$, que nos describe lo que se conoce como la *pcro*.

Definimos la función *valor* particular para un periodo cualquiera t como:

$$V_t(X_t) = \text{Max} \sum \rho^{t-1} B_t(M_t, Y_t) = \text{Max} [\ln[1 + Y_t] + \rho E(V_{t-1}(X_{t-1}))]$$

Para calcular los valores esperados de la función valor a partir de un período cualquiera se necesita conocer¹⁸ las distintas probabilidades (la distribución de probabilidad) de encontrarse con unas existencias X_t (y sus distintos valores posibles) en cada uno de los dos períodos considerados siguientes al inicial. Dichas probabilidades se presentan directamente sobre los árboles de decisión tras su cálculo a través de sus funciones de distribución condicionadas $f(X_t/X_{t-1}, Y_{t-1}, R_t)$ o, en forma más pulcra, $f(X_t/X_{t-1}, Y_{t-1})$ dado que el valor R_t está implícito bajo los valores del resto para un período t cualquiera.

Comenzando el proceso de inducción hacia atrás se calcula la *pcro* en $t=2$, en este período la función de valor es,

$$V_2 = \text{Max} \ln(1 + Y_2)$$

Que se maximiza con $Y_2^* = X_2$, es decir con la liberación de toda el agua retenida en el último período

en la presa. Esta regla de gestión en el período final es consecuente con la no existencia para el explotador de ningún coste de oportunidad temporal de la extracción actual pues mantener existencias del recurso tienen para él valor neto nulo en el futuro ya que las pierde, por ejemplo, al caducar la concesión administrativa en la medida que no tenga esperanza de ser renovada. No siempre, como se verá a continuación, es posible obtener una regla de gestión óptima como aquí sino que, en general, va a depender del valor de la variable estado que se afronte, por ello la *pcro* es una gestión adaptativa.

Retrocediendo un período la siguiente función de valor¹⁹ para $t = 1$ sería:

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{Max} [\ln(1 + Y_1) + \rho E(V_2)] = \text{Max} \\ &[\ln(1 + Y_1) + \rho E(\ln(1 + Y_2))] = \\ &= \text{Max} [\ln(1 + Y_1) + \rho E(\ln(1 + X_2))] = \\ &\text{Max} [\ln(1 + Y_1) + \rho E(\ln(1 + X_1 - Y_1 + R_1))] \end{aligned}$$

Como no es posible tomar la derivada de la expresión entre corchetes $[\Sigma]$ porque Y_1 , no es una variable continua, no se puede aplicar el método de optimización. Por esto la política óptima Y_t^* , que dependerá en general de X_t , la determinamos con el árbol de decisiones, calculando numéricamente los distintos resultados en beneficios de las alternativas de explotación y comparándolos, pues con pocas alternativas es manejable gráficamente este método (con un programa de cómputo adecuado no importa su número).

Finalmente, para $t = 0$:

$$\begin{aligned} V_0 &= \text{Max} [\ln(1 + Y_0) + \rho E(V_1)] = \text{Max} \\ &[\ln(1 + Y_0) + \rho E(\ln(1 + Y_1))] \end{aligned}$$

18. En nuestro caso se decide bajo condiciones de riesgo donde se conocen las probabilidades de los estados posibles a los que nos enfrentamos en la toma de decisión derivada de la variable aleatoria del problema. Dado que la recarga es una variable aleatoria de la que se conoce su distribución de probabilidad se supone que no existe incertidumbre completa, lo que es un supuesto más aceptable si se considera un horizonte temporal corto, otra cosa sería contemplar un horizonte mayor ya que entonces el conocimiento meteorológico es insuficiente. Otra cuestión a discutir cuál sería el comportamiento del agente según sea adverso al riesgo o no, posiblemente esto influiría en tomar de una tasa de descuento u otra de referencia siendo más elevada si tiene preferencia por el riesgo.

19. Obsérvese que en el periodo $t = 1$ debemos considerar la optimización en el futuro, en el periodo $t = 2$, bajo la incertidumbre de cuál será la recarga del embalse por ello se introduce el operador esperanza sobre la función valor de $t = 2$, aunque X_2 es un dato observable y conocido en $t = 2$, es una variable aleatoria desde la perspectiva de $t = 1$.

Y_0^* , es el valor de producción que maximiza el beneficio presente y el esperado presuponiendo que en los periodos siguientes se actúa de la mejor manera posible frente a las circunstancias (valor de la variable estado) que se va encontrando el explotador, que procura (en lo que a él respecta) que éstas circunstancias sean las más idóneas con respecto a cómo le ha interesado explotar el recurso en los periodos anteriores.

Véase la resolución completa a través de los esquemas de decisión que se adjuntan al final: Figura 2: caso $X_0 = 1$; Figura 3: caso $X_0 = 0$; Figura 4: caso $X_0 = 2$. A continuación se intenta “validar” el modelo, razonando el porqué de la optimalidad de la *pro* obtenida.

El análisis: algunos aspectos a considerar en la explotación

Comenzamos nuestro análisis y explicación de los árboles de decisión por el caso $X_0 = 1$,

(Véase el árbol de decisión correspondiente al final).

Bajo la columna V_2 , se calcula $V_2 = \ln(1 + X_2)$ para $Y_2 = X_2 = 0, 1, 2$. Se obtienen los valores 0; 0,6931 y 1,0986. Como se puede ver, en dicho árbol, hay varios caminos que pueden conducir a un valor concreto de X_2 y V_2 , por ejemplo, si $X_1 = 2$ y no se libera agua ($Y_1 = 0$) se obtiene $X_2 = 2$ con probabilidad 1; por otra parte si se libera $Y_1 = 1$ entonces $X_2 = 2$ con probabilidad $2/3$. También alcanzamos con probabilidad $2/3$, $X_2 = 2$ desde $X_1 = 1$ si $Y_1 = 0$.

Dados X_1 y una Y_1 factible elegida, es posible calcular V_1 . Por ejemplo, si $X_1 = 2$ y elige desembalsar $Y_1 = 1$, entonces $V_1 = \ln(2) + rE(V_2) = \ln(2) + (1/1,1)[2/3 \cdot 1,0986 + 1/3 \cdot 0,6931] = 1,5689$.

Las decisiones óptimas de la variable control aparecen con una estrella para cada estado y con vista al

futuro siguiente, todas ellas constituyen conjuntamente la *pro* para este problema. Cuando $X_1 = 2$ el valor máximo de V_1 corresponde a $Y_1 = 1$. Para $X_1 = 1$, el valor máximo corresponde de nuevo a $Y_1 = 1$ pues $1,1132 > 0,8758$, y cuando $X_1 = 0$, la única opción es $Y_1 = 0$.

En $t = 0$ la función de valor es $V_0 = \text{Máx} [\ln(1 + Y_0) + rE(V_1)]$. Dado que $X_0 = 1$, Y_0 sólo puede ser 1 ó 0. Obsérvese que para calcular V_0 , se usan los valores óptimos de V_1 una vez conocido R_0 y, por tanto X_1 . Por ejemplo, cuando $Y_0 = 0$, $V_0 = \ln(1) + rE(V_1) = \ln(1) + 1/1,1[2/3 \cdot 1,5689 + 1/3 \cdot 1,1132] = 1,2881$. Cuando $Y_0 = 1$ se obtiene $V_0 = 1,4950$, siendo ésta la liberación óptima inicial, destacar aquí que ello es así a pesar de $rE(V_1)$ para $Y_0 = 0$ es mayor que para $Y_0 = 1$ ($1,2881 > 0,8019$), pues es decisivo el beneficio obtenido con la comercialización de agua en $t = 0$ frente a su almacenamiento. Después de la liberación inicial de una unidad, la política óptima dependerá de la recarga real (es una política de gestión adaptativa, no queda programada desde el comienzo).

Es de destacar que si el factor de descuento es 1, o sea, el tiempo no influye en la valoración de los flujos monetarios se podría pensar, y de hecho es así, que con ello se favorece la conservación del agua.

En nuestro ejemplo, por el contrario, el factor de descuento no es decisivo a la hora de determinar la política óptima, sería una prima del presente sobre el futuro. Lo decisivo es el hecho de que si conserva el agua se renuncia a la posibilidad de recuperar el agua desembalsada con la recarga pues la presa tiene un límite de capacidad de embalse y el agua excedente la desperdiciaría²⁰ y no obtiene de ella ninguna rentabilidad. La rentabilidad esperada será mayor en la medida en que la recarga sea más cierta, favorecido por la limitación de la posibilidad de especular²¹ con el agua a lo largo del tiempo, entre periodos; aunque, sí existe la

20. Véase el comentario en nota al pie (17).
 21. Téngase en cuenta que el precio del agua no sube en el período siguiente por retener agua al anticipar cambios en la demanda, ya se dijo que la demanda era estática. Existe especulación por obtener rentas gracias al poder de mercado que permite al explotador buscarlas tanto hacia adelante en el tiempo, desembalsando más para forzar una mayor carestía en el futuro con un ascenso de precios a lo largo de la curva de demanda, como a la inversa almacenando más para buscar mayores rentas en el periodo actual. Destacar que esas rentas son la consecuencia de la condición de optimali-

posibilidad de especular en el mismo período ofreciendo menos agua y obteniendo unos beneficios medios mayores que si aumentamos el desembalse, dicha posibilidad queda también limitada por el hecho de que no podemos desembalsar cualquier cantidad de agua suficientemente pequeña²².

También es importante en la optimización de la política de gestión tener en cuenta que el almacenamiento de agua tiene coste de oportunidad, si con el almacenamiento y la recarga se supera la capacidad del embalse y se han de desaguar, por ejemplo en el caso de encontrarnos en $X_1 = 2$ y $Y_1 = 0$ obteniendo un $V_1 = 0,9987$ (siendo el más bajo de los posibles) por tener completa la capacidad de embalse²³, dicho coste de oportunidad se encuentra realmente como la diferencia entre el valor de V_1 de la $Y_1 = 1$ (la óptima) y la $Y_1 = 0$. Vamos a ver, de otra manera, que esto es lo que explica la superioridad de la decisión de $Y_1 = 2$ frente a $Y_1 = 0$ cuando $X_1 = 2$ en mayor medida que el efecto del factor de descuento. Elijo $Y_1 = 0$ e $Y_1 = 2$ porque es claro que en dicho contraste es más evidente este efecto pues hemos eliminado el efecto de la caída del precio por una mayor oferta, al ser la oferta de agua la misma aunque en distintos periodos (en el caso de $Y_1 = 0$ en el período 2 y con $Y_1 = 2$ en el período 1 se ofrece lo mismo y se obtiene como beneficios 1,0986), para $r = 1$ no habrá la influencia del factor de descuento ($d = 0$), y serán de igual valor temporal los benefi-

cios obtenidos en los dos periodos, pero en un caso, con $Y_1 = 2$, no existe la posibilidad de recarga (y de obtener gracias a ella caudales vendibles en el período 2) y por pequeña que sea la probabilidad con la extracción $Y_1 = 2$ ya hemos obtenido lo que podríamos obtener con $Y_1 = 0$ en el período 2 (1,0986 en beneficios)²⁴.

Como se ha comentado antes, también hay otro efecto de mercado que sería la caída en los beneficios medios según aumente la oferta de caudal, esto explica, en parte, la optimalidad de la política de desembalses parciales frente a los completos en los períodos intermedios ya que así se consigue elevar los beneficios medios en cada periodo. Este efecto nos ayudaría a explicar la superioridad de $Y_1 = 1$ frente a $Y_1 = 2$ para el caso $X_1 = 2$ pero es más claro aún si consideramos el caso $X_1 = 1$ y se compara $Y_1 = 0$ frente a $Y_1 = 1$. Tomando $r = 1$, y de este modo eliminamos este efecto para mostrar con más nitidez el efecto que nos interesa y suponiendo además que $\text{pr}(R_t = 1) = 1$.

Aunque es mayor, en este contexto, $E(V_2) = 1 \cdot 1,0986$ para $Y_1 = 0$ que $E(V_2) = 1 \cdot 0,6931$ para $Y_1 = 1$, no consigue compensar la diferencia en los beneficios del periodo $t = 1$ entre ambas decisiones originada por el mayor precio conseguido por el desembalse parcial. Veámoslo utilizando la función-valor V_1 :

$$\text{para } Y_1 = 0, V_1 = \ln(1) + 1,0986$$

(21). dad basada en los ingresos y costes marginales del monopolio $\text{IMg} = \text{CMg}$ (en competencia perfecta $\text{IMg} = \text{p}^* = \text{CMg}$), y lo que hace es distribuir, teniendo presente esta condición, el total estimado de recurso (que desconoce a priori) de modo que puede adaptarse según vaya cambiando la estimación lo largo de este tiempo (en cada período hay un reajuste) y ello será aproximación inferior de aquella distribución temporal (y el valor conseguido) que hubiese hecho de haberle permitido volver a empezar conociendo la cantidad final de recurso que dispondría. Conviene precisar también que la renta económica es la diferencia entre lo que se paga por un factor de producción, por ejemplo, el precio de monopolio, y el pago mínimo necesario para que dicho factor de producción se ofrezca, por ejemplo, si se compara con una situación de competencia perfecta el precio competitivo. (Figura 1).

22. Recuérdesse que, antes, al explicar porqué, a pesar de $\text{pE}(V_1)$ es mayor para $Y_0 = 0$ que para $Y_0 = 1$, ésta última era la estrategia óptima puede cambiar si ahora es posible extraer una cantidad como $_$ frente a dejar el agua almacenada.

23. Al ser ésta una restricción del modelo, en concreto de la oferta o producción del recurso, no es fuente de coste de oportunidad las limitaciones que impone bajo dicha climatología y demanda ya que no se estudia esta cuestión bajo este modelo.

24. En el caso $\delta = 0,1$ hemos calculado 0,9987, para $Y_1 = 0$, y 1,5186 para $Y_1 = 2$, la diferencia sería 0,5199. Si se modifica la tasa de descuento y, por ejemplo, se toma nula, $d = 0$ (sería el caso más favorable a la conservación del agua embalsada, pues no hay coste de oportunidad temporal) obtenemos 1,5606 y 1,0986 respectivamente, siendo su diferencia 0,4620. Por tanto, el efecto del descuento es la diferencia $0,5199 - 0,4620 = 0,0579$, aproximadamente un 11 % de 0,5199. Esto es así debido a que se obtiene con una elevada probabilidad 2/3 en el periodo $t = 2$ unos beneficios máximos de 0,6931 ($2/3 \cdot 0,6931 = 0,4620$); de todas forma la superioridad se encuentra en que siempre será mejor la estrategia que permite obtener lo mismo pero además abre la posibilidad (o la esperanza, el valor esperado sería positivo, ya que no tenemos la certeza de ello por haber probabilidades de por medio pues otro resultado posible, con 1/3, es obtener $V_2 = 0$ si no hay recarga en el período 1) de obtener algo más.

$$\begin{aligned} \ln(3) &= 1,0986 \\ \text{para } Y_1 = 1, V_1 &= \ln(2) + 0,6931 \\ &= 2 \cdot 0,6931 = 1,3862 \end{aligned}$$

O sea, repartir el agua en dos desembalses es más beneficioso que en uno, debido al efecto de la oferta de caudal en el precio del agua, implícito en nuestra función de beneficios logarítmica y cuya magnitud dependerá de la elasticidad demanda-precio de la curva de demanda considerada.

Para darse cuenta de la influencia de los valores de probabilidad de la variable aleatoria (de la recarga) sobre la política óptima se puede calcular cuál es el valor, $\text{pr}(R_t = 1)$, para provocar un cambio, si nos encontramos en $X_1 = 2$ por ejemplo, que pase de $Y^*_1 = 1$ a $Y^*_1 = 2$. El hecho de que la primera se superior a la segunda se debe como se constata en el árbol de decisión a que $Y_1 = 2$, posee una función valor V_2 inferior (el descuento no influye ya que afecta por igual) por cuanto dentro de las estrategias óptimas del siguiente periodo $t = 2$, hay una que no produce rentabilidad, a saber ($X_2 = 0$; $Y_2 = 0$), por ello si se redujera su probabilidad lo suficiente podría ser la estrategia óptima $Y^*_1 = 2$. Resolviendo la siguiente inecuación obtenida de $V_1(Y_1)$ para ambas alternativas se obtiene $\text{pr}(R_t = 1) = 0,859$ frente a la anterior $\text{pr}(R_t = 1) = 2/3 = 0,666$:

$$\ln(2) + [pp \ln(3) + p(1-p)\ln(2)] \leq \ln(3) + [pp \ln(2)]$$

p es el valor paramétrico de la probabilidad.

El valor del factor de descuento influye sobre el valor necesario de $\text{pr}(R_t = 1)$ para el cambio, de modo que cuanto mayor sea menor será la magnitud del cambio en la probabilidad necesario, pues pierde peso la

parte de la rentabilidad obtenida en el período 2, lo que perjudica más a la decisión $Y_1 = 1$ que a $Y_1 = 2$.

Caso $X_0 = 0$,²⁵ (Véase el árbol de decisión correspondiente al final, Figura 3).

Caso $X_0 = 2$, (Véase el árbol de decisión correspondiente al final, Figura 4).

Estos aspectos del análisis de sensibilidad son unos cuantos de los posibles se obtendrían introduciendo otros cambios como por ejemplo un nuevo²⁶ valor intermedio de dominio de la variable estado ($X_t = 1/2$). Considerar un período terminal $T > 2$, simplemente exigiría coordinar los árboles de decisión recalculando los valores esperados para los períodos anteriores a partir de $T-2$ hasta el periodo inicial $t = 0$.

Explotador-privado (monopolista) versus explotador institucional

A continuación se compara el modelo de explotación monopolista con aquella que se podría realizar por parte de los propios regantes o por la administración hidráulica para los mismos, destacándose ciertas diferencias.

La consecución de rentas de escasez intertemporales por la “tensión” de la demanda no resultaría de la optimización de la función objetivo del explotador institucional. La implicación de regantes, de forma directa o indirecta en la explotación, confunde el interés del explotador con aquellos de los demandantes de agua para riego. De modo que se maximiza el valor esperado del bienestar del colectivo (agregación de los beneficios de las explotaciones²⁷). Con la gestión institucional se pueden recuperar las rentas obtenidas por el

25. En este caso la política de gestión óptima comienza a partir de $t = 1$ puesto que en $t = 0$ no podemos tomar ninguna decisión sobre Y , ya que no hay caudal en el embalse. Lo normal por parte de explotador es evitar esta situación, ya que es la que peor resultado económico le ofrece, para ello debería intentar poner en servicio la función de almacenamiento del embalse antes de la finalización de la obra hidráulica.

26. Realmente implica dos nuevos valores estado posibles, $X_t = 0,5$ y $1,5$.

27. Bt ya no incluiría la función de beneficio del explotador sino una agregación de todos y cada uno de los regantes, y sobre la que hay que hacer supuestos para determinar unos criterios de reparto, uno de los cuáles sería el criterio de reparto proporcional, que conllevan restricciones en las alternativas de distribución.

28. Se recuerda que no necesariamente se conseguirían tales rentas si la gestión privada de la obra hidráulica está regulada con conocimiento de causa. Por ejemplo, vía precio, con el control de tarifas por cuanto la propia administración resulta ser quien más información dispone de los costes de explotación de obras hidráulicas dado que ha sido, hasta ahora, prácticamente el único explotador de dichas obras hidráulicas. También el poder de mercado intertemporal se condiciona, vía cantidad, con la exigencia de reservas de agua como sucedía con la citada explotación privada del embalse de Puentes.

poder de mercado intertemporal del monopolista²⁸ basado en el control del precio. Según Milliman, J.: “La propiedad común impide la adquisición del derecho sobre la propiedad del agua, de forma que el agua tiende a valorarse en su *coste de producción* en lugar de a su valor económico, por lo que no se generan rentas económicas.”, en Aguilera Klink, F. (coordinador) (1996, pág. 337). Dichas rentas no sólo surgen de la escasez actual sino, como en nuestro caso, también de la escasez futura prevista cuando son agentes privados quien intervienen en la explotación del recurso con la facultad de disponer libremente de él como con cualquier bien privado de producción.

Suponiendo que *el excedente del consumidor* de la curva de demanda, el área que queda por debajo de ésta, es equivalente²⁹ a la suma agregada de los beneficios de los agricultores demandantes (el bienestar colectivo), resulta que el beneficio extraordinario del monopolista es una detracción de parte de la misma (*Figura 1*)³⁰. Además de la llamada *pérdida muerta de eficiencia del monopolio* se da una redistribución desde el excedente o beneficios de los usuarios hacia el monopolista. Por tanto, la explotación por los regantes es, en principio, mejor solución desde la perspectiva de interés social que la concesión de explotación monopolística.

La gestión por los usuarios maximiza dicho excedente extrayendo la cantidad máxima posible sin afec-

tar al mínimo de viabilidad futura de las explotaciones, usualmente lo que se hace es fijar exclusivamente una garantía técnica³¹ que determinaría el agua a desembalsar. En el caso de costes marginales nulos sería, potencialmente, toda el área debajo de la curva de demanda. Sin embargo, nada ha garantizado que se mantenga ese mínimo de forma óptima ni la optimalidad de la extracciones decididas con la gestión institucional pasada. Lo cual no se reveló mientras se dieron situaciones de oferta de agua sostenidas por el gran potencial de crecimiento inicial de las disponibilidades y la prioridad del fomento agrario en la política económica desarrollista. Tales circunstancias justificaron el criterio: con agua para todos los demandantes, ¿por qué restringirla con precios (sobre el recurso³²) cuando es ofrecida por la naturaleza (“sin coste de fabricación”)? y con una explotación de características del monopolio natural que facilitaban lograr poder de mercado sobre un recurso económico básico.

Esto cambia cuando la situación es de una demanda que ha superado las aportaciones medias como sucede en nuestro ejemplo, ($Y_t < D_0$). La recarga es insuficiente para atender a todos los regantes del embalse. Se plantea, entonces, el nuevo hecho: ya no es posible maximizar el bienestar del colectivo sin discriminar a sus usuarios, de modo que se use el agua por aquellos con mayor valor de uso relativo.

29. Representa la disposición a pagar desde aquel que obtiene productos de alto valor añadido al que menos por cada unidad de recurso adicional desembalsada. Se podría añadir que en ese excedente se encuentra la disposición de pago por la viabilidad económica de las explotaciones futura, o no considerando que no hay tales pérdidas, por ejemplo, se plantan cultivos de temporada y que el capital no se deteriora por la inactividad de aquellos que no consiguen agua y esto explicaría la estabilidad de la demanda sin necesidad de la continua entrada y salida del mercado de agricultores.

30. La curva de demanda representada no es la supuesta en el modelo, con dicha figura se pretende ilustrar los conceptos expuestos y no representar gráficamente la situación modelizada.

31. Dicha garantía permitía dimensionar los embalses para atender extrapolaciones de la demanda existente, se considera una demanda sin atender al precio del recurso suministrado. Es como si en el caso de la curva de demanda de la figura 1 se considerasen atendibles todas las necesidades que alcanzasen la disposición marginal de pago de 0, o sea la demanda Y_0 . En función de esa demanda se estiman las disponibilidades necesarias para su suministro con una garantía dada: cuando se trata de la demanda de abastecimiento es de 100% y se estima que es uniforme a lo largo del año; en el caso de la demanda para regadío se considera una demanda variable media representativa a lo largo del año (con los consumos más altos en los meses de verano) con el criterio de garantía estándar de déficit anuales acumulados del 50, 75 y 100% de la demanda anual para 1, 2 y 10 años respectivamente. Esto era suficiente si después se simplemente se distribuye proporcionalmente.

32. Es tópica la opinión del agricultor sobre el agua de no admitir un precio por el recurso en sí, mientras se entiende mejor que se sufragen los costes de producción. De hecho existe un canon de utilización de bienes del dominio público hidráulico cuya base imponible es el rendimiento obtenido y que no afecta al principal bien, el agua, en su aprovechamiento. Esta tasa es distinta del canon de regulación y de la tarifa de utilización del agua que tienen la finalidad de repercutir los costes de inversión y de explotación de las distintas obras hidráulicas entre los usuarios (contribuciones especiales-fiscales). No se entra en la cuestión de los costes de oportunidad del agua por sus funciones ambientales, importantes desde la regulación interanual de los ríos; su no consideración ha retrasado el cambio en la percepción desarrollista de que siempre se podría atender las demandas y no habría necesidad de tener en cuenta el valor de escasez del agua.

Todos los regantes se encuentran bajo la curva de demanda, pero si se desembalsa una cantidad de agua inferior a aquella en donde la última unidad adicional de agua no hay usuario que le obtenga un rendimiento ¿cómo se sabe que los regantes que reciben el recurso son necesariamente aquellos que dada la cantidad ofrecida (Y_r) obtienen el máximo excedente posible? O sea aquellos que bajo la curva de demanda quedan a la izquierda de dicha cantidad ofrecida (*Figura 1*).

Ya no hay garantía de estar optimizando el bienestar colectivo aunque éste sea, en principio, potencialmente mayor³³. Dependerá del poder discriminador del explotador institucional; dicho poder es, normalmente, escaso ya que desconoce las funciones de beneficios de cada uno de los agricultores.

Por tanto, cuándo para maximizar el bienestar colectivo se requiere tomar decisiones sobre a quien dar el recurso y cuánto, la gestión institucional “ortodoxa” se demuestra incapaz en lograrlo. La regla que se había seguido, predominantemente, entre los usuarios con derecho al uso era la distribución proporcional del agua, como también de la carga del coste de explotación, con derecho relativo a la extensión de la tierras de cultivo³⁴. Con esta distribución, no existe garantía de optimización del bienestar agregado del colectivo en el uso del recurso. Simplemente, se logra no perjudicar a nadie en su derecho a costa de limitar a los agricultores más productivos e, incluso, poniendo en el mismo riesgo de inviabilidad a unos como a otros. Además, los desembalses tenderían a ser superiores dado que es difícil que la pauta de consumo de cada uno de los usuarios sea independiente del resto, de modo que no cultivar implica perder los recursos correspondientes en el reparto lo que influye en el fomento del consumo.

¿Cómo se ha ajustado el exceso de demanda a la oferta del recurso existente si todos los regantes se reparten el agua proporcionalmente? Por dos vías, aplicando el racionamiento en el caso de escasez de oferta donde todos sufren la restricción por igual y se les ofrece una parte del recurso; o bien redistribuyéndose entre los regantes el recurso de manera ilegal, rompiendo la regla del reparto proporcional y adscrito a la dimensión de la tierra, pagando primas³⁵ no al regante que se le restringe más su aprovechamiento sino a quien reparte el recurso. Esto ha supuesto un enviciamiento del sistema de distribución. La reasignación del recurso hacia los cultivos de mayor valor o con mayor valor capitalizado (por ejemplo, para el mantenimiento del arbolado) quedaría limitada por dicho reparto que, estructuralmente, dependería de la cantidad media interanual de recursos hídricos regulados en el embalse y de sus máximos y mínimos.

Con cambios en la explotación institucional para discriminar con precios sí se podría optimizar el bienestar del colectivo de usuarios, por ejemplo, a través de la subasta, el intercambio de derechos de riego u otros mecanismos que fijen un precio que represente el coste de oportunidad en la utilización de un recurso escaso. La redistribución del valor del recurso se realizaría entre los propios usuarios y sin pagar por la existencia de rentas de escasez intertemporales “provocadas”. No obstante, hay que advertir que el cómo no es irrelevante para lograr la introducción de tales cambios, los usuarios pueden no ser receptivos a la fijación de precios por la junta de gobierno de la comunidad y preferir ser ellos quienes participen directamente en la compra-venta de las participaciones en la cantidad de agua, independientemente de la decisión sobre la cantidad de agua a ofertar.

La gestión institucional será viable siempre que se

33. De hecho si se imagina, se podría dar la peor situación posible que sería que los usuarios con mayor añadido de sus productos sufriesen, además de la limitación producción, incluso pérdidas irreversibles que impidiesen la continuidad de sus explotaciones mientras se mantienen a otros agricultores “peores” durante ese espacio temporal.

34. Basado en el criterio fundiario, más factible con los medios tecnológicos anteriores: sin medios de medición de caudal exactos ni red de distribución adecuada para ello.

35. Situación más frecuente cuando hay muchos regantes y son pequeños.

cubran los costes de explotación³⁶ en lo que se refiere a la actividad de la obra hidráulica, en nuestro caso del embalse; se garantice un suministro mínimo de seguridad³⁷ para los períodos sucesivos que evitara incurrir en pérdidas irreversibles a los regantes de modo que la continuidad o el reinicio se haga inviable, por ejemplo, la pérdida de capital físico³⁸ o la existencia de costes por la paralización de la actividad.

Recapitulando lo expuesto, se puede decir que la gestión por el explotador institucional sigue siendo interesante³⁹ frente al explotador monopolista cuando los usuarios realizan un mismo uso, pero siempre que sean capaces de fijar precios que les garanticen que aquellos agricultores más eficientes y de producciones más rentables sean discriminados de aquellos otros que no lo son para los recursos hídricos generados. La obtención de las rentas económicas por escasez de la concurrencia de los demandantes permitiría, por ejemplo, a la comunidad de regantes, realizar inversiones adicionales en mejoras tecnológicas y conocimientos técnicos para la perfectibilidad funcional de la explotación así como la adquisición desde otras fuentes para mejorar la garantía del servicio mientras se supere el valor de los recursos adicionales obtenidos. No obstante, la explotación privada puede llegar a ser interesante si, con restricciones presupuestarias públicas, se pretende acelerar la inversión en obras hidráulicas dado que en muchas ocasiones los usuarios son incapaces, organizativa y financieramente, de ello.

36. En nuestro ejemplo, se consideraba que éstos sólo eran fijos, no hay costes variables (son nulos, luego el coste marginal es nulo). Hasta no hace mucho, se valoraba positivamente su no repercusión a los regantes ya que se estimaba que los beneficios directos, obtenidos por el colectivo del crecimiento en producción, y los indirectos, por ejemplo, caídas de precios de los alimentos, los compensaban. Obsérvese que ahora la situación es inversa, por la internacionalización de los mercados agrarios los precios se mantienen más bajos de lo rentable para muchas producciones.

37. Mínimo que también tendría en cuenta el monopolio en su explotación por dos razones: la responsabilidad de ofrecer un servicio público bajo concesión y el derrumbe de su demanda. De todas maneras el supuesto que se ha realizado, simplifica tal aspecto en el modelo. Dicho supuesto se comenta al hablar de la equivalencia entre el excedente de consumidor y los beneficios agregados del colectivo de agricultores.

38. El no cultivo de la tierra no supone incurrir en un coste de oportunidad ya que realmente no hay elección entre cultivar y no cultivar. Sí pueden existir pérdidas de ingreso por parte del agricultor, pero no necesariamente si le resulta posible seguir produciendo y experimenta la mejora del ingreso unitario por la elevación del precio de sus productos.

39. Otra cuestión relevante es la situación de la que se parte, por ejemplo, muchos agricultores con escasa organización colectiva pues puede ser conllevar más costes de transacción la conformación de un mercado de gestionado por los usuarios que uno monopolístico por las dificultades de crear una política de oferta acertada y convenida por los mismos usuarios. También las estrechas posibilidades de financiación hacen que no sea abordable para los agricultores obras de este tipo.

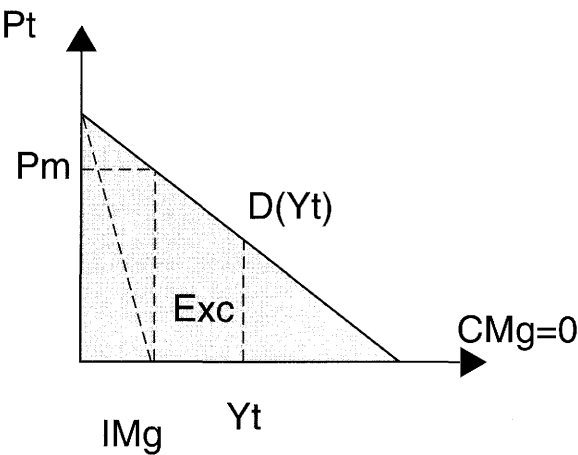


Figura 1
Curva de Demanda

Bibliográficas

1. Azqueta, D y Ferreiro, A (eds.) (1994): *Análisis económico y gestión de recursos naturales*. Alianza, Madrid.
2. Clark, C.W (1990): *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources*. 2ª Ed. Wiley-Interscience.
3. Gil Olcina, A (1993): *La propiedad de aguas perennes en el sureste ibérico*. Universidad de Alicante.
4. Mitchell, B. (1997): *La gestión de los recursos y del medio ambiente*. Mundi-Prensa, Madrid.
5. Surís J. y Varela M. (1995): *Introducción a la economía de los recursos naturales*. Civitas, Madrid.

Figura 2
Arbol de decisi3n caso $X_0 = 1$

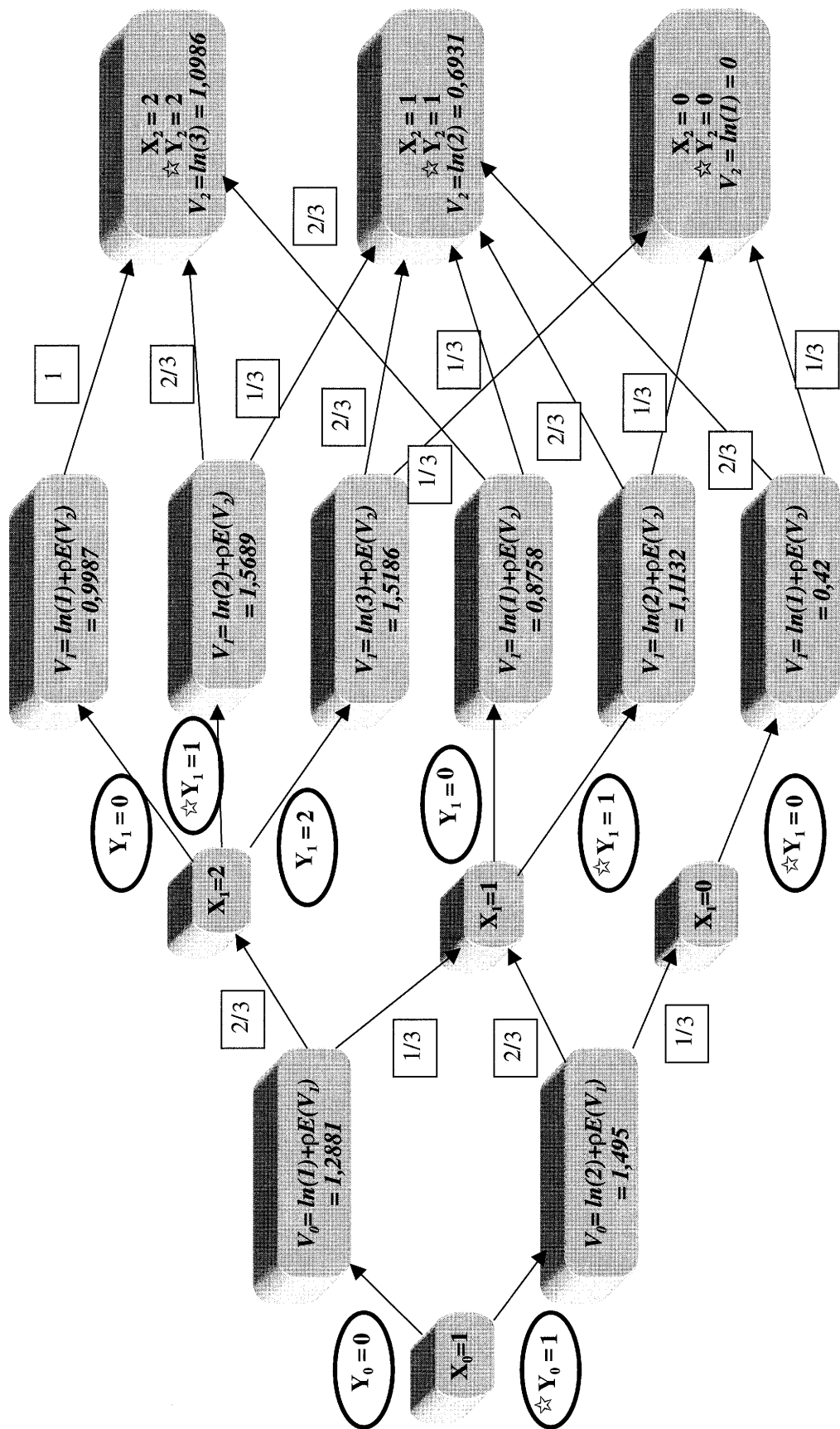


Figura 3
 Arbol de decisión caso $X_0 = 1$

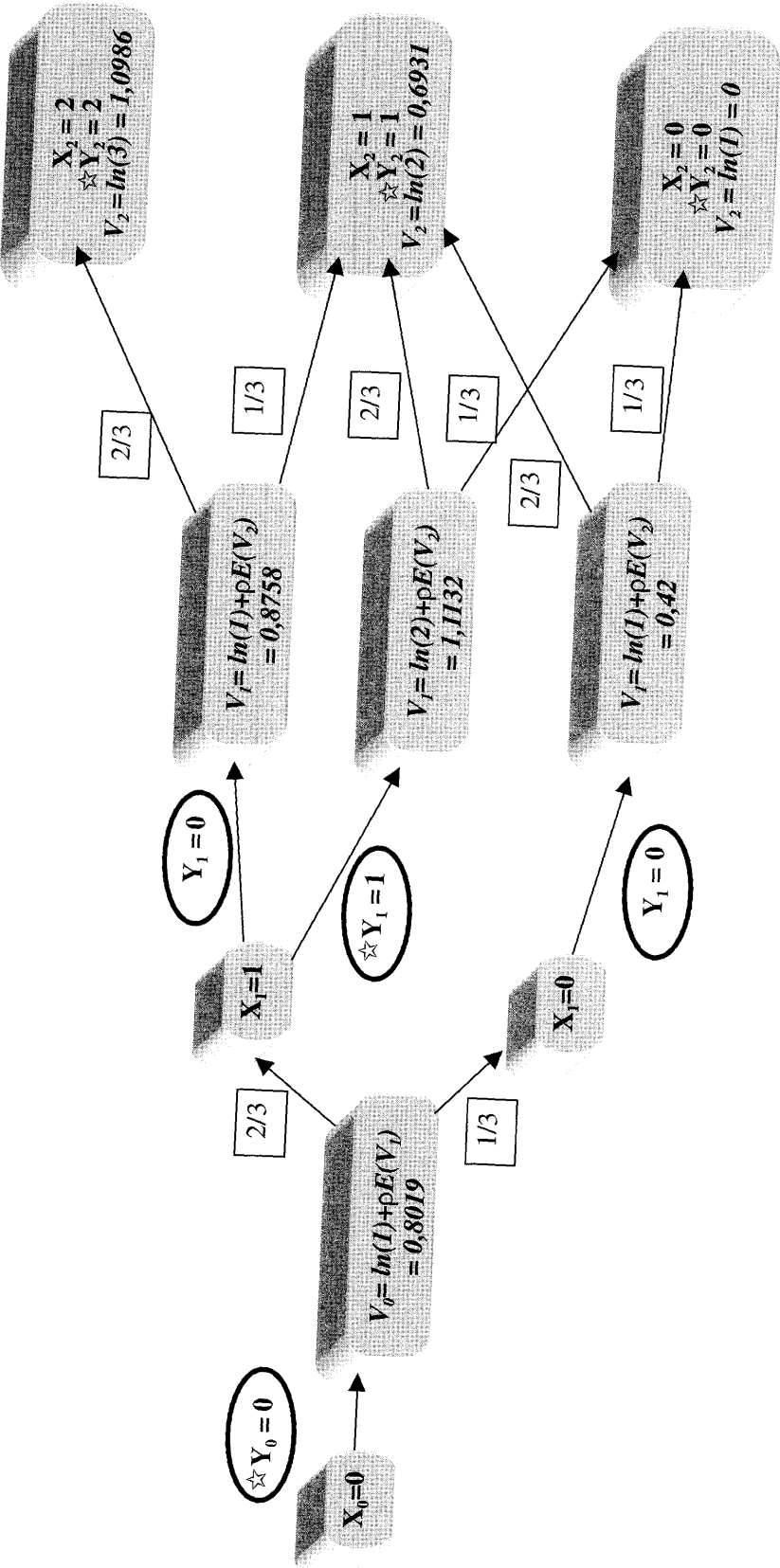
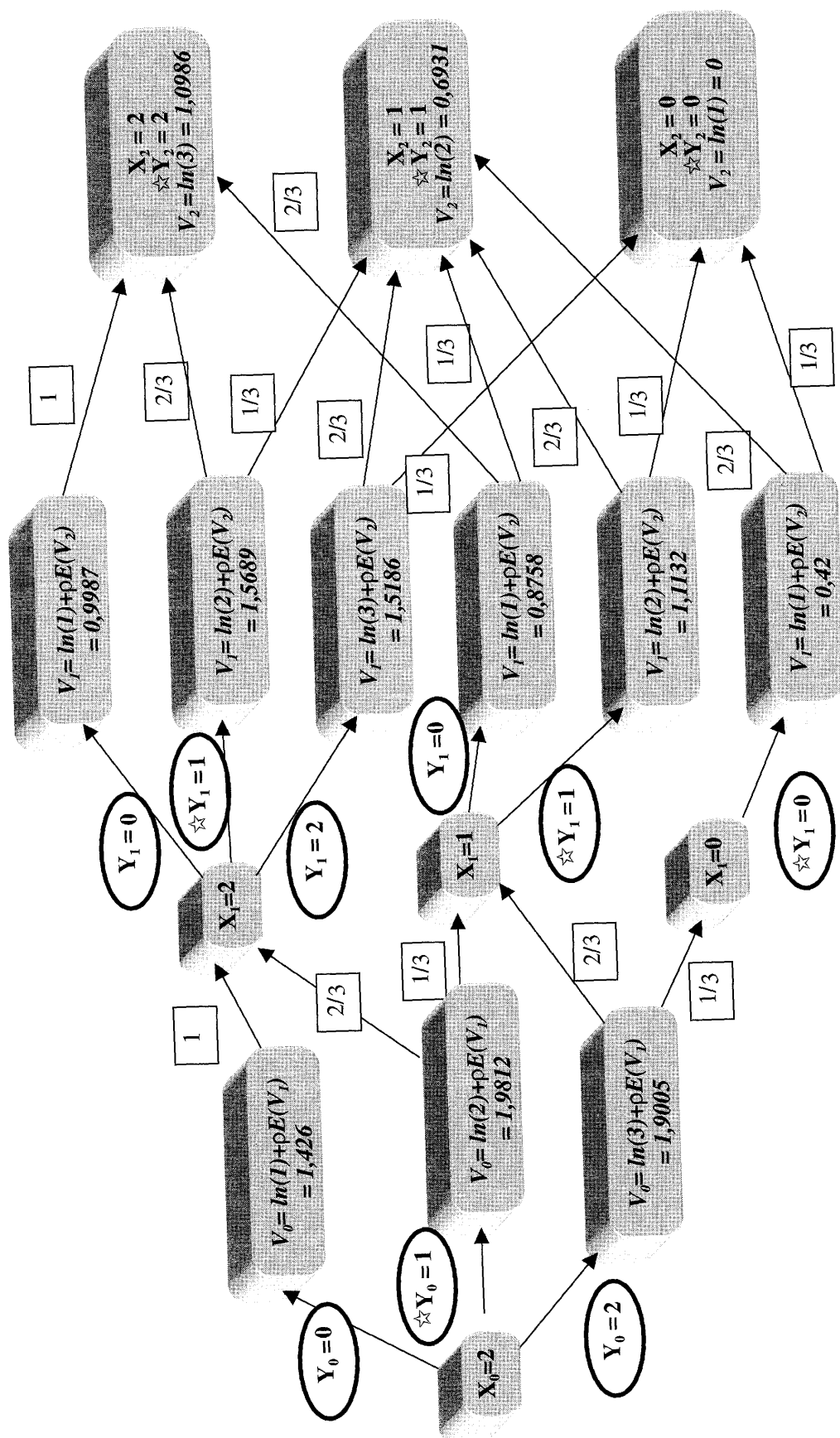


Figura 4
 Arbol de decisión caso $X_0 = 1$



La organización del riego en el regadío histórico de la Vega Baja del Segura.

Desequilibrios, reformas y perspectivas

▀ **Carles Sanchís Ibor; Pascual Mancebo Serrano**

Centro Valenciano de Estudios del Riego.

Universitat Politècnica de València

El presente artículo forma parte de un amplio estudio en curso desarrollado desde hace año y medio por el *Centro Valenciano de Estudios del Riego* (Universidad Politécnica de Valencia), con objeto de analizar la problemática del regadío de la Vega Baja del Segura desde diversas perspectivas: organización, economía, aspectos medioambientales e hidráulicos. Como parte del trabajo de campo en marcha, se han recogido y analizado los sistemas de reparto –*tandas* o *entandes*– de las principales acequias de la Vega, a partir de entrevistas con los miembros de las diferentes comunidades de regantes. En las siguientes líneas, proponemos una reflexión en torno a los sistemas de distribución del agua en los regadíos históricos de la comarca.

Las acequias de la Vega Baja, como otros regadíos históricos mediterráneos, presentan sistemas de reparto del agua complejos y poco equitativos. La organización del riego, apenas ha experimentado modificaciones significativas a lo largo del tiempo, perpetuando desequilibrios seculares. Esta circunstancia agrava puntualmente la situación crítica de algunos agricultores del Bajo Segura. Como han puesto de relieve diversos autores (1, 3, 6), buena parte de las explotaciones

de la comarca atraviesan graves dificultades, derivadas de la penuria de los recursos hídricos y de la baja calidad de los caudales fluviales, situación que se manifiesta en una elevada tensión social.

El reparto del agua en el regadío histórico de la Vega Baja

La organización del riego en la mayor parte de los regadíos históricos del mediterráneo responde a dos modelos –identificados inicialmente por BRUNHES (2)– que GLICK (5) definió como contrastadas tradiciones hidráulicas: el tipo *sirio* y el *yemenita*. Por un lado, en los sistemas de riego de tipo *yemenita* el agua permanece desligada de la tierra y se reparte mediante la venta o subasta entre los usuarios potenciales, como sucede en los regadíos del Vinalopó: Elx, Novelda, Aspe. Por su parte, en las grandes huertas del mediterráneo español –como la Vega del Segura o l’Horta de València–, el agua queda ligada a la tierra y cada parcela tiene asignada una dotación concreta, que se transfiere con su compraventa.

En estos hidrosistemas –de tipo *sirio* según GLICK

(5)–, la disponibilidad de agua –a veces fundamentada en antiguos privilegios y relaciones de poder– condiciona el método de reparto. Cuando el recurso es suficiente, predomina el riego *a tajo* o “*tall arreu*”, es decir, el regante dispone del agua durante todo el período de riego; las acequias mayores y sus derivaciones principales llevan *agua continua* o *corrible*. En regadíos deficitarios, por el contrario, se efectúa un riguroso *entande* o *tanda*, un sistema de reparto que asigna un tiempo concreto de disfrute del agua de la red de distribución a cada unidad de riego –dominada por una compuerta o *parada*– e incluso, en ocasiones, se regula temporal y minuciosamente la distribución del recurso en la red terciaria. Éste es el sistema predominante en la Vega Baja, donde sólo en las acequias mejor dotadas resulta posible encontrar *arrobas abiertas*, en las que el agricultor a veces puede disponer de varios días para tomar el agua cuando desee.

La duración de cada tanda depende, lógicamente, de la longitud del canal y de la superficie regable: alcanza los 24 días en las Acequias de Alquibla y Callosa, las mayores de la Vega. La principal excepción de este sistema –se alterna la venta del agua diaria entre los sectores regables– es la *Comunidad de Riegos de Levante Margen Derecha del Río Segura*, considerado legalmente como regadío histórico, pero con una génesis posterior y una fisonomía –en cuanto a infraestructuras y parcelario– muy diferente al resto de la Vega tradicional.

Las *tandas* son administradas por los guardas, regadores y acequeros y en algunas ocasiones no existe un referente documental, éstas son transmitidas oralmente y sólo son conocidas en su totalidad por dichos expertos. En algunas de ellas apenas se han introducido cambios desde los siglos XVIII o XIX y en buena medida, responden todavía al reparto efectuado por Jerónimo Mingot en 1624, comisionado real que cumplió con el cometido de reordenar los regadíos oriolanos. Los *entandes* forman pues parte del legado cultural del regadío de la Vega Baja y constituyen, a su vez, una fuente para el estudio su evolución histórica.

Hoy día, la completa regulación de la cuenca del Segura y la sobreexplotación de sus recursos hídricos determinan la recurrencia de los entandes: los riegos quedan por lo general limitados a los períodos de desembalse, cuatro al año, durante los cuales llegan entre 60 y 70 Hm³ a las Vegas Alta, Media y Baja del Segura. Durante la presente temporada de riegos, la sequía ha reducido a dos los desembalses, cada uno de ellos con un volumen inferior a 55 Hm³, de los cuales entre 24 y 25 Hm³ debieron llegar a la Vega Baja.

Fuera de este período, el riego resulta sumamente arriesgado, dado que las aguas residuales que fluyen por el cauce del Segura hacen peligrar la supervivencia de los cultivos y la calidad de los suelos de la comarca. Como se demuestra en la figura 1, si exceptuamos el período de desembalse, la conductividad de las aguas del Segura oscila en torno a los 5 mmho/cm, una cifra que hace muy poco recomendable el riego.

Desequilibrios generados por el sistema de reparto: dotaciones, riego nocturno y calidad de aguas

Esta situación de precariedad y penuria del riego se ve agravada puntualmente por efecto de los tradicionales sistemas de reparto del agua: los antiguos entandes establecen importantes desequilibrios en las dotaciones de las unidades de riego de algunas acequias de la Vega histórica. En bastantes ocasiones, dentro de una misma acequia, el reparto de las dotaciones no es proporcional a la superficie con derecho a riego.

Por lo general, los tramos iniciales de las acequias resultan beneficiadas frente a los sectores de cola, un fenómeno frecuente en algunos regadíos tradicionales y que en ocasiones tiene origen en la dificultad para dominar las tierras más altas. Así, por ejemplo, en la Acequia Comuna de Rojales, las dos primeras paradas disponen de todo el volumen de riego del canal durante 32 horas para regar 10 ha, mientras que una de sus dos derivaciones alimenta 316 ha con 136 horas de riego y un caudal menor, al simultanear el riego con la Acequia de los Huertos. Algo similar sucede en la

Acequia Mayor de Almoradí, donde las derivaciones de las primeras paradas dan riego durante varios días en la primera semana de riego, mientras que durante la segunda semana, las restantes unidades de riego disponen de volúmenes menores y tiempos de riego muy ajustados.

Además de los desequilibrios en el volumen de agua asignado a cada unidad de riego, las tandas de la Vega Baja provocan la perpetuación del riego nocturno en determinados sectores de cada acequia. La hora de inicio del riego es siempre la misma –por lo general las seis de la mañana–, de manera que cada parcela riega en todos los desembalses, año tras año, a la misma hora. De este modo, casi un tercio de las parcelas de los regadíos históricos del llano de inundación de la Vega Baja sólo tienen derecho a riego entre las 11 de la noche y las 7 de la mañana, con las consabidas molestias para los agricultores. Es una situación particularmente perjudicial para aquellos que practican la agricultura a tiempo parcial.

Asimismo, los sistemas de tandeo de la Vega Baja también determinan la calidad de aguas que recibe cada unidad riego. Hoy día, durante el período de desembalse se producen notables cambios en la salinidad y la carga contaminante del río Segura, de manera que, dependiendo del momento en el que se produce el riego, se obtiene una u otra calidad de aguas.

Los primeros que riegan en cada desembalse lo hacen con las aguas de peor calidad, dado que la entrada de nuevos caudales al río provoca un lavado, que arrastra las aguas residuales acumuladas en el lecho fluvial durante el estiaje. Como muestra la figura 2, la conductividad de las aguas de riegos –según los datos de la Acequia Comuna de Rojas de mayo de 2000– es muy elevada durante los tres primeros días de riego, superior incluso a 5 mmho/cm, cifra que desciende a lo largo del período central de la tanda por debajo de 2 mmho/cm, para iniciar un suave aumento en los diez últimos días de riego, hasta poco más de 3 mmho/cm. Finalizado el entande, después de 25 días, la conductividad recupera los niveles iniciales (Figuras 1 y 2).

Esta circunstancia perjudica notablemente a las primeras unidades de riego de cada acequia –por lo general, las mejor dotadas–, las cuales, desembalse tras desembalse, se ven forzadas, por la rigidez del sistema de reparto, a regar con una calidad de aguas que limita seriamente la productividad de sus cultivos y compromete el futuro de las explotaciones, al incrementar la salinidad de un suelo pocas veces bien lavado.

Por otra parte, durante el último cuarto del siglo XX, el desarrollo urbano de la comarca ha motivado la introducción de pequeñas modificaciones en los antiguos sistemas de tandeo que, lejos de reequilibrar el reparto de dotaciones, han incrementado la desigualdad entre los regantes. La ocupación creciente del suelo agrícola por vías de comunicación o equipamientos urbano-industriales provoca inmediatamente una alteración de la asignación de dotaciones, al reducirse la superficie regable dentro de cada unidad de riego. Por lo general, este cambio beneficia a los usuarios que mantienen su actividad, ya que éstos absorben el agua que no toman los campos desaparecidos. Sin alterar la tanda, aprovechan lo que en la Vega suele llamarse el *agua adelantada*: si un agricultor completa su riego antes del tiempo estipulado en la tanda o deja pasar el agua, el siguiente en el turno tiene derecho a disfrutar esta dotación, además de la propia.

No obstante, en las acequias próximas a los núcleos urbanos, donde la pérdida de suelo agrario es más importante, los órganos de gobierno de la acequia suelen acordar soluciones para reasignar las dotaciones sin dueño. Así por ejemplo, en la Acequia Vieja de Almoradí y en la de Callosa las primeras paradas históricas han sido suprimidas, ya que la expansión urbana de Orihuela ha eliminado buena parte de las tierras regables. Los tiempos de riego de dichas unidades pasaron a engrosar la primera parada activa cuyos regantes disfrutan ahora de una posición privilegiada dentro del sistema.

Ahora bien, pese a haberse suprimido las citadas paradas, quedan todavía algunas tierras cultivadas en las antiguas unidades de riego –tanto en la Acequia de

Callosa como en la Vieja de Almoradí. Éstas, a cambio de perder su dotación horaria, han obtenido el derecho a regar a su antojo mediante motores, en cualquier momento del *entande*. Esto, por un lado, les sitúa en una posición privilegiada respecto a otros comuneros, mientras que por otra parte, perjudica notablemente a los usuarios de otras unidades cuyas horas de riego coincidan con el momento en el que estos regantes hagan uso de sus nuevos derechos. En definitiva, estos cambios, inducidos por la expansión urbana, no se encaminan a mejorar el reparto; son soluciones que, desde nuestra racionalidad, no pueden considerarse satisfactorias.

Reformas y resistencias

Los desequilibrios del sistema de distribución del agua, en un regadío deficitario y muy degradado ambientalmente, han suscitado el interés de la administración autonómica, que ha llegado a promover intervenciones correctoras. En este sentido, en 1995, la *Conselleria d'Agricultura i Pesca* financió un proyecto de reforma y modernización de los riegos de la Acequia Mayor de Almoradí, del *Juzgado de Aguas del Azud de Alfeitamí*, con objeto de mejorar la eficiencia del riego y someter el reparto del agua a criterios más equitativos.

La iniciativa, encargada a una empresa consultora que trabajó con la ayuda del Juzgado de Aguas, se llevó a cabo tras efectuar un completo estudio (4) del funcionamiento del sistema tradicional, calculando los desequilibrios entre las unidades de riego y estableciendo un nuevo sistema de asignación de las dotaciones hídricas, que reducía los desequilibrios entre las unidades de riego del Juzgado. Algunos de los sectores tradicionalmente privilegiados veían reducidas sus dotaciones hasta en un 15%, mientras que entre las unidades más deficitarias se proponían mejoras que llegaban hasta un incremento del 50% de los recursos.

En esta comunidad existía un precedente relativa-

mente cercano: *el Día del Alargue*, un acuerdo entre los regantes de la comunidad para dar un día más de riego a las tierras peor dotadas de la acequia, que permitió, a mediados de los años cuarenta mejorar los riegos en las partidas situadas al noreste del casco urbano. Sin embargo, el proyecto impulsado por la administración autonómica no despertó el interés de los regantes y, en consecuencia, no ha sido ejecutado.

Esta iniciativa, como cualquier otra del mismo cariz, choca con un obstáculo hasta ahora insalvable: el vínculo secular entre el mercado de la tierra y la distribución de aguas de riego. En los sistemas de regadío histórico en los que el agua va unida a la tierra, la dotación de agua asignada a cada parcela se convierte en un aspecto fundamental a la hora de tasar el valor de un campo. Por ello, alterar la distribución del riego significa modificar súbitamente el valor de la tierra en el mercado, un cambio al que se oponen la mayoría de los propietarios. Existe pues, otra lógica que impide la racionalización de la asignación de dotaciones hidráulicas y que, por tanto, limita las posibilidades de éxito de cualquier reforma del sistema de riego.

No obstante, en algún caso se han podido llevar a término reformas exitosas del sistema de la distribución del agua. Así ha sucedido, por ejemplo, en el *Juzgado Privativo de Aguas de Guardamar*, donde el abandono de las explotaciones agrarias y la consiguiente reducción de la superficie regable han permitido la sustitución del antiguo *entande* por el riego *a tajo*, al verse incrementadas proporcionalmente las exiguas dotaciones. En la Acequia de Escorratel, perteneciente al *Juzgado Privativo de Aguas de Orihuela*, también se ha abandonado la antigua tanda por estos motivos; actualmente, dentro del período de riego, los regantes piden el agua al guarda o regador cuando la necesitan. Sólo bajo estas premisas —una considerable reducción de la demanda de agua— o en alguna unidad de riego de pequeño tamaño —como ha sucedido entre los regantes del partidador de Lo Lentao, en Rojas— parece posible el acuerdo entre los usuarios para modi-

ficar el sistema de riego y equilibrar la asignación del recurso.

Del mismo modo, existen ejemplos de intervenciones para alternar equitativamente el riego nocturno. En algún caso, como en la Acequia de la Rueda Bernada (Rojales y Guardamar), los regantes han podido llegar a un acuerdo para mejorar esta situación. Así, la tradicional tanda de 15 días ha sido alargada, añadiendo medio día de riego, de manera que los riegos nocturnos se alternan ahora en cada tanda entre las diferentes unidades del sistema.

La pérdida de calidad de las aguas del Segura ha provocado también, en algún caso, la sustitución del *entande* tradicional por un nuevo sistema de reparto, con objeto de evitar que siempre sean los mismos regantes los que se ven obligados a emplear las aguas de peor calidad. Así, el riego de la Noria de Moquita, que históricamente seguía una tanda de 13 días y medio, ha abandonado este procedimiento ancestral; ahora cada uno de sus nueve acueductos pide agua al motorista siguiendo un turno rotativo, evitando que la primera unidad de riego reciba siempre el agua más degradada.

Así pues, han sido posibles algunos acuerdos para reformar la organización del riego más equitativamente en acequias de pequeño tamaño o en lugares donde la reducción de la superficie cultivable ha incrementado la disponibilidad del recurso. En todos los casos, se ha tratado de una iniciativa de los propios regantes, habiendo fracasado el único intento impulsado por la administración.

Perspectivas

En un futuro inmediato el regadío de la Vega Baja va a experimentar la generalización del riego localizado, cuyas redes presurizadas acabarán por sustituir las actuales infraestructuras de distribución. En estos momentos, el Juzgado Privativo de Aguas de Rojales ya ha iniciado la construcción de la nueva red hidráulica y el Juzgado de Aguas de Guardamar y las ace-

quias de Puertas de Murcia y Mudamiento (Orihuela) acometerán en breve proyectos similares. Asimismo, en otras acequias, propietarios de fincas bien dimensionadas han acometido por cuenta propia la ejecución de pequeños proyectos de transformación.

La expansión del riego por goteo seguramente provocará cambios en la organización de los riegos de la Vega y debe permitir la eliminación del riego nocturno. Además, el funcionamiento de las redes presurizadas exigirá agua de mayor calidad, por lo que es previsible que, en el futuro, la Vega histórica haga uso de los caudales del Embalse de la Pedrera, en vez de recibir su dotación de desembalse a través del degradado cauce fluvial. Esto permitiría sanear notablemente los cultivos y los suelos de la comarca.

Sin embargo, a tenor de lo sucedido en el Juzgado Privativo de Aguas del Azud de Alfeitamí, parece más difícil que la reforma de la red de infraestructuras comporte una reordenación de la asignación de las dotaciones que pudiera reducir los desequilibrios entre las unidades de riego de las acequias de la Vega. El vínculo entre el mercado de la tierra y las dotaciones de riego es un factor capaz de limitar el éxito de tales operaciones. Tan sólo la reducción de la superficie regable, como consecuencia de los procesos de expansión urbana, podría facilitar el acuerdo entre los regantes para equiparar los derechos de riego de cada parcela.

Bibliografía

1. BRU RONDA, C. (1993): *Los recursos de agua. Aprovechamiento y economía en la provincia de Alicante*. Fundación Cultural CAM, Alicante.
2. BRUNHES, J. (1902): *L'Irrigation: ses conditions géographiques, ses modes et son organisation dans la Péninsule Ibérique et dans l'Afrique du Nord*. Paris, C. Naud.
3. CANALES MARTÍNEZ, G. (1988): Regadíos deficitarios en el Bajo Segura. *Demanda y economía del agua en España*, pp. 415-428, Instituto de Estudios

- “Juan Gil-Albert” Instituto Universitario de Geografía, Alicante.
4. GARCÍA GARCÍA, M. (1995): *Estudio del sistema de riego de la Acequia Mayor del Juzgado Privativo de Aguas del Azud de Alfeitamí y propuesta de reordenación del mismo*, Cauce S.A., 5 vols.
 5. GLICK, T.F. (1970): *Irrigation and Society in Medieval Valencia*. Harvard University Press, traducción publicada en 1988, *Regadío y sociedad en la Valencia medieval*, Ed. Del Cenia al Segura, Valencia, 413 pp.
 6. MARCO SEGURA, J.B.; MATEU BELLÉS, J.F.; ROMERO GONZÁLEZ, J. (1995): *Regadíos históricos valen-*

cianos. Propuestas de Rehabilitación. Conselleria d’Agricultura, Pesca i Alimentació, Generalitat Valenciana, 158 pp.

Agradecimientos

Queremos hacer constar las facilidades prestadas por los *Juzgados Privativos de Aguas* de Orihuela, Rojales, Guardamar y del Azud de Alfeitamí (Almora-dí) y la *Comunidad de Riegos de Levante Margen Derecha del Río Segura* en el desarrollo de esta investigación y otros trabajos desarrollados en la Vega Baja. A todos ellos nuestro agradecimiento.

Figura 1.
Medias mensuales de conductividad de las aguas del río Segura en Rojas

Medias mensuales de la conductividad del río Segura en Rojas (noviembre 1999-junio 2000)

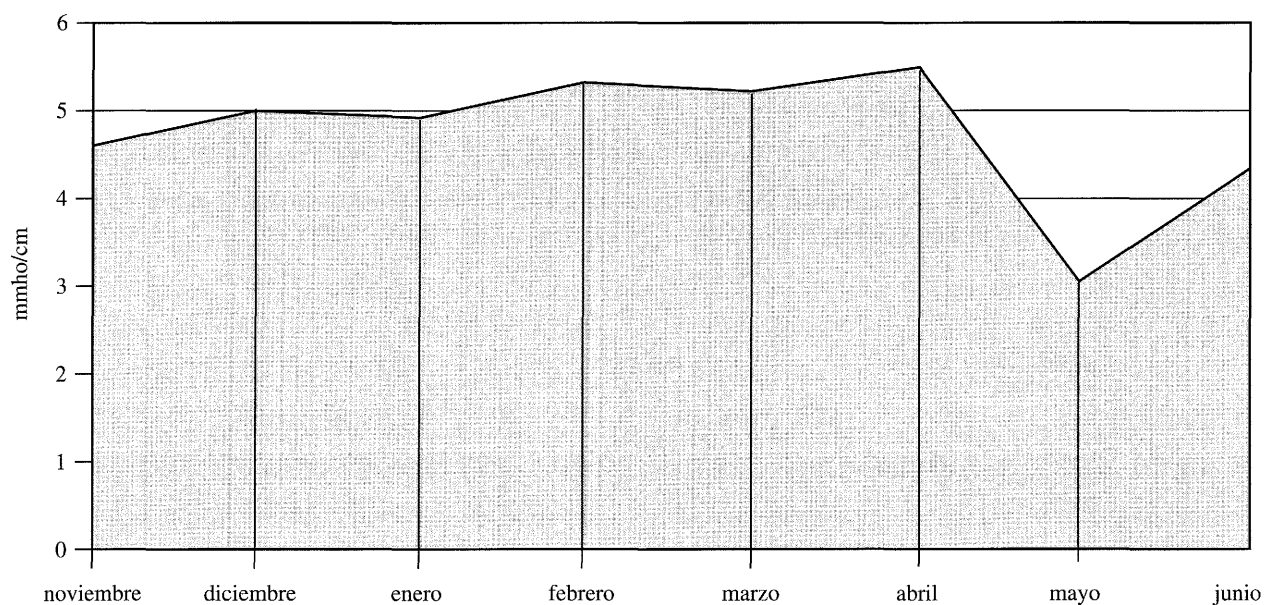
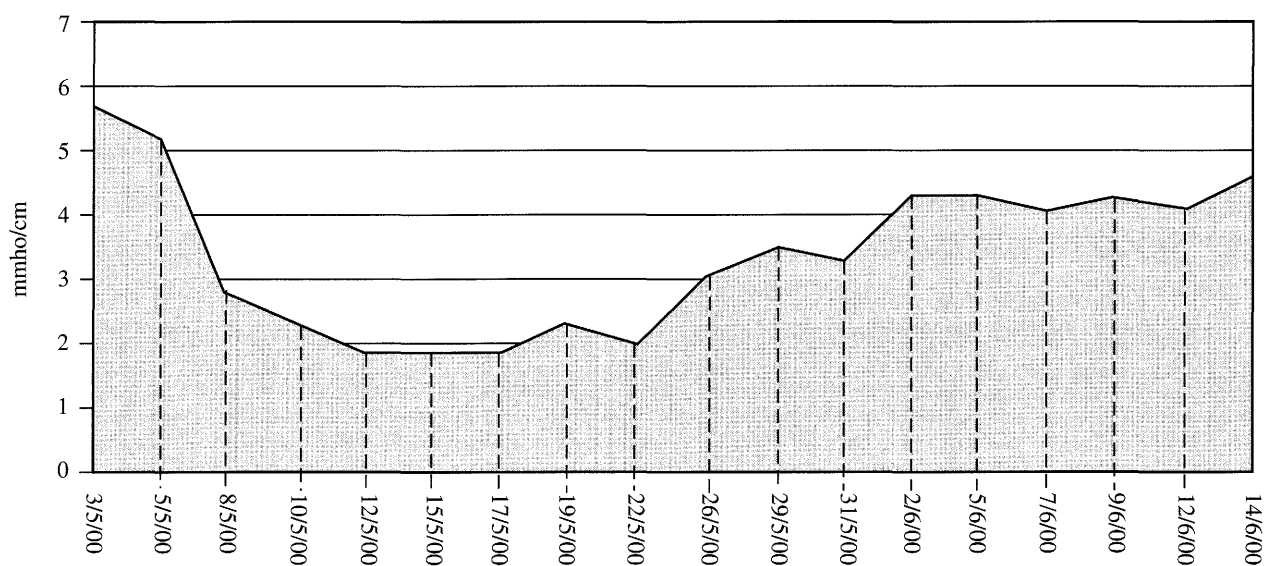


Figura 2.
Cambios en la conductividad del río Segura en Rojas durante el desembalse de mayo de 2000

Cambios en la conductividad del río Segura en Rojas durante el desembalse de mayo de 2000



El cálculo de necesidades hídricas a escala regional mediante la integración de una red de estaciones agroclimáticas y un SIG-SIAM

■ Erena, M.; Caro, M.; García, F.; García, P.; Barrancos, G.A.; García, J.

Centro de Investigación y Desarrollo Agroalimentario. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de Murcia

■ López, J.A.

3000 Informática

El SIAM es un servicio de información agroclimático basado en el protocolo de comunicaciones de Internet y al que se puede acceder mediante un ordenador. Su funcionalidad se centra en el uso del World Wide Web-WWW como soporte de acceso a la información, por ser este un entorno universal (1) (7).

Su objetivo es el de promover y facilitar la transferencia de información generada por la red agroclimática regional y la investigación agraria, para conseguir un uso racional y eficiente de los factores productivos, especialmente el agua de riego, los fertilizantes y los productos fitosanitarios (6).

Las áreas de trabajo del SIAM se pueden resumir en las siguientes:

- Climatología agrícola.
- Riegos.
- Fertilización.
- Producción Integrada.
- Protección y Sanidad Vegetal.
- Cartografía temática.
- Información General.

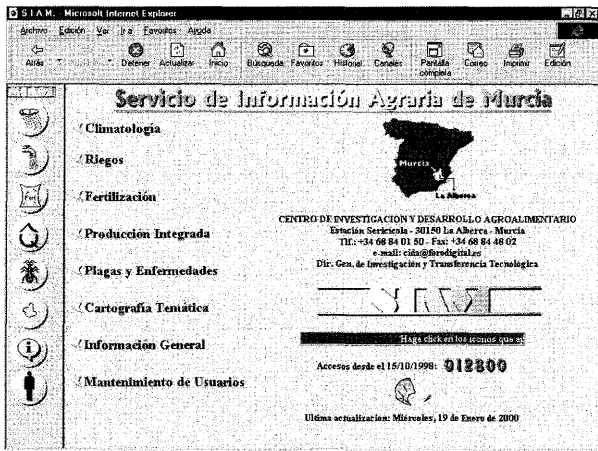


Figura 1. Pantalla de acceso del SIAM.

Descripción del servicio

El servicio dispone de un total 45 estaciones agrometeorológicas automáticas repartidas por las principales zonas regables de la Región de Murcia. Las estaciones se componen de los siguientes sensores: temperatura, humedad relativa, viento, precipitación, radiación y evaporación de cubeta clase A.

La información climática se actualiza diariamente de forma automática, mediante un servidor de comuni-

caciones que llama a las estaciones mediante un módem de telefonía digital (GSM).

– Climatología agrícola

En resumen, el área de climatología es la encargada de recoger, ordenar y procesar todos los datos agroclimáticos de las distintas estaciones propias del Servicio. Los trabajos que se realizan son:

- Mantenimiento de la red de estaciones agroclimáticas.
- Recogida, ordenación y procesamiento de datos agroclimáticos.
- Cálculo de la ETo diaria de los principales zonas de la Región de Murcia.
- Estudios bioclimáticos: horas frío, heladas, seguimiento de plagas.
- Emisión de informes: diarios, semanales, mensuales, anuales y medios.

– Riegos

Este módulo permite que los usuarios del sistema dispongan de asesoramiento en materia de riegos y adaptados a su explotación, es decir en función de: estación climática de referencia, cultivo, marco de plantación, tipo de emisor, conductividad eléctrica del agua, etc (4) (5). La información facilitada por el sistema es: necesidades totales de agua de riego para el cultivo, dosis e intervalo entre riegos y tiempo de riego.

Los cultivos contemplados actualmente son:

- Frutales hueso: melocotonero, albaricoquero, ciruelo, cerezo.
- Cítricos: limón, naranjo, pomelo.
- Frutales de pepita: manzano y peral
- Olivo, almendro y uva de mesa.
- Hortícolas: tomate, pimiento, melón, lechuga, brócoli, alcachofa.

– Fertilización

En esta módulo se pueden obtener una estimación

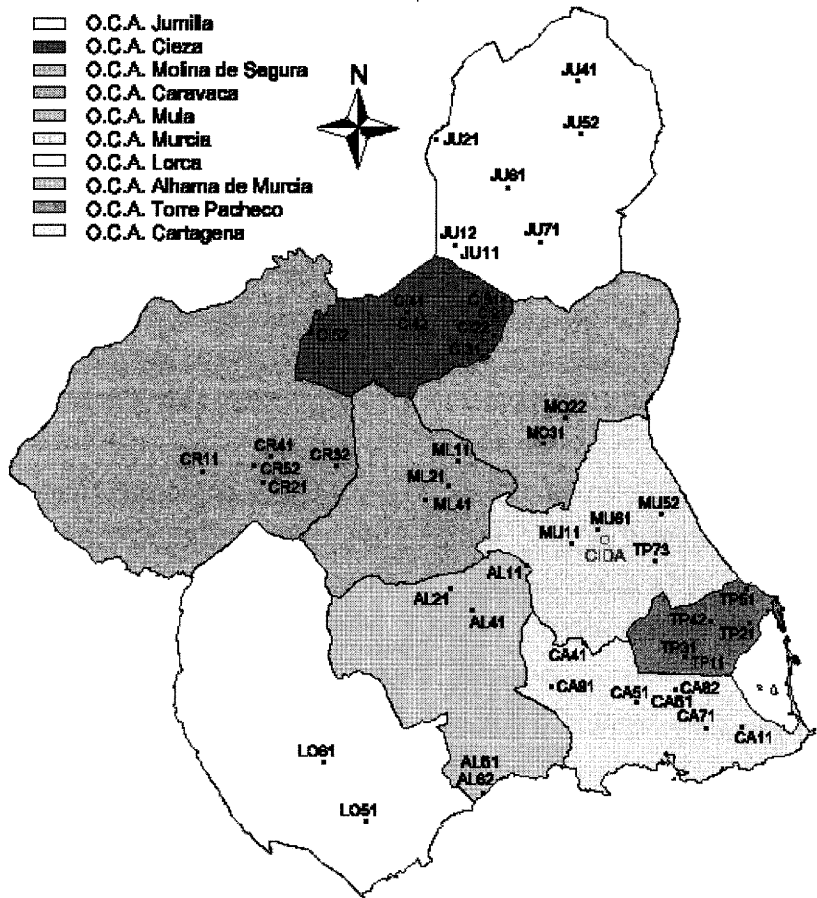


Figura 2. Distribución de las estaciones Agroclimáticas por O.C.A.s.

Ejemplo de consulta en el S.I.G.

| Variable | Valor | Unidad | Fuente |
|-----------------------------------|--------------------|--------|---------|
| Estación climática de referencia: | CI22 | | SIAM |
| Distancia parcela-estación: | 3970 | M | SIAM |
| Eto anual:Penman Monteith: | 1100-1200 | mm/año | SIAM |
| Temperatura media anual: | 16° - 17° | °C | SIAM |
| Precipitación media anual: | 300 – 400 | mm/año | SIAM |
| Altimetria: | 290 | M | IGN |
| Pendiente: | 1 | % | SIAM |
| Uso del suelo: | Regadío | | SIAM |
| Zona regable: | Ascoy-Sopalmo | | CHS |
| Acuífero: | Ascoy-Sopalmo | | CHS |
| Tipo de suelo: | Xerosoles-Cálcicos | | LUCDEME |

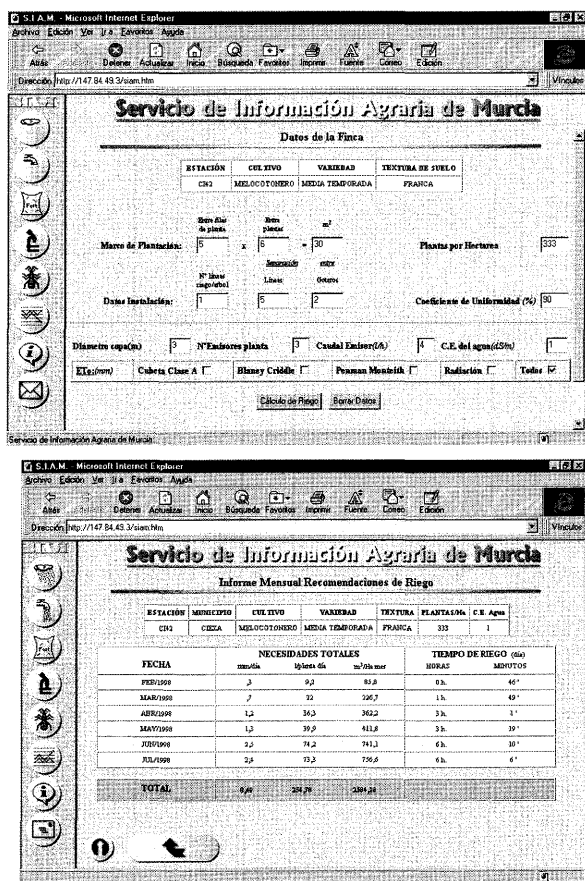


Figura 3. Pantalla de introducción de datos para el cálculo del tiempo de riego. Salida de resultados de volúmenes y tiempos de riego.

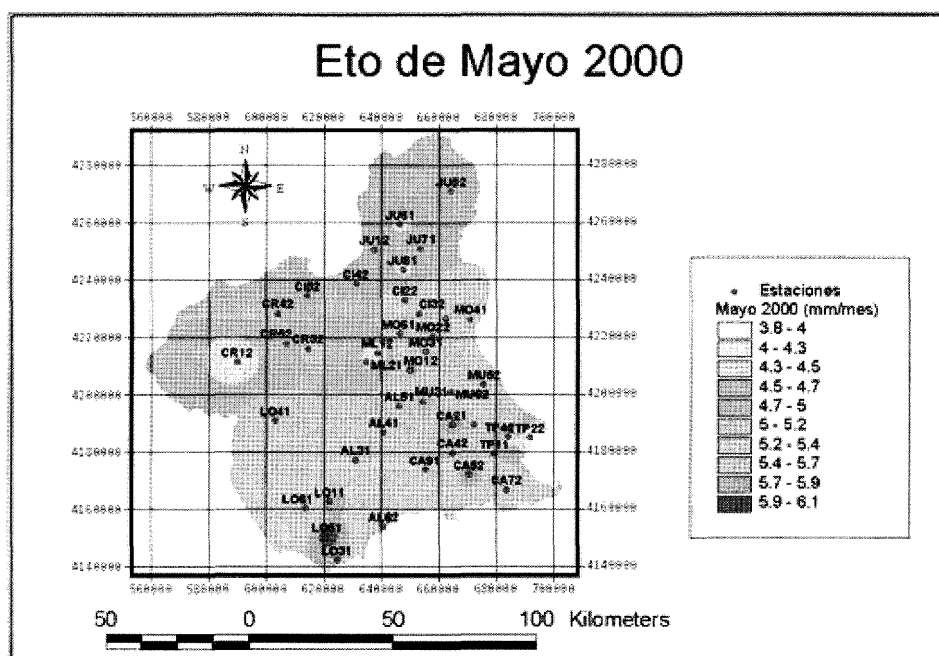
de las cantidades de fertilizantes y su distribución en el tiempo, para los mismos cultivos que en el modulo de riegos, en función del tipo de agua y suelo.

– Producción integrada y Sanidad Vegetal

Las normas generales de produccion integrada en Murcia se pueden encontrar en el Decreto 8/1998, de 26 de febrero, sobre producciones agrícolas obtenidas por estas técnicas. El Decreto tiene por finalidad establecer el marco normativo por el que se ha de regir la producción y comercialización de productos vegetales frescos ó transformados obtenidos con técnicas que favorezcan la salud de los productores y consumidores y la salvaguardia ambiental, en línea con lo que internacionalmente se conoce como producción integrada, todo ello sin perjuicio de las restantes disposiciones nacionales ó comunitarios en vigor, que regulan la producción, elaboración, calidad, comercialización, etiquetado y control de los productos vegetales cultivados frescos y transformados.

– Cartografía temática

Mediante la integración de la base de datos agroclimática con un Sistema de Información Geográfica se introduce la capacidad de elaborar mapas temáticos de gran utilidad para la caracterización agroclimática y el cálculo de necesidades hídricas a escala regional.



– Información general

Actualizada mensualmente y de interés para el Sector, como puede ser: cursos de incorporación a la empresa agrícola, ayudas oficiales, información sobre ferias y congresos, información sobre límites de residuos de plaguicidas, precios agrícolas en origen y destino, noticias agrarias, direcciones de las OCAs y de los diferentes servicios que gestionan las ayudas, etc.

La estructura del servicio está formada por un centro servidor de datos (CIDA) y 10 puestos en las Oficinas Comarcales Agrarias (OCA), estas últimas llevan a cabo la transferencia tecnológica, por estar encargadas de la difusión de la información elaborada a los pequeños agricultores que no disponen de ordenador.

El acceso al sistema está optimizado para el navegador *Internet Explorer 4.0* o superior, y se puede acceder a través de la siguiente dirección: <http://www.carm.es/cagr/cida/indexsiam.html>. El acceso al sistema se realiza una vez introducidos el nombre de usuario y la contraseña, para lo cual se puede emplear *INVITADO* y *ANONIMO*, respectivamente. Como alternativa a lo anterior podemos emplear una *clave personalizada*, es decir, podemos introducir un nombre y contraseña propios que puede ser solicitado al

sistema mediante la opción presente en el menú de mantenimiento de usuarios. Esta *clave personalizada* permite que cada usuario disponga de acceso privado a los parámetros que se den de alta en la base de datos de parcelas, y su objetivo es facilitar la solicitud de informes de riego o fertilización. Los parámetros que se pueden automatizar son: estación climática de referencia, localización de la parcela, cultivo y variedad, marco de plantación, datos de la instalación de riego, análisis de agua y suelo asociados, y el método cálculo de Eto a emplear.

Resultados y discusión

Con la aplicación de las nuevas tecnologías se ha conseguido una *herramienta interactiva* que permite a cualquier técnico, mediante su clave única y personalizada, mantener una base de datos (altas, bajas y modificaciones) con múltiples parcelas de las cuales puede pedir informes de riego con la frecuencia que necesite (mensual, semanal o diaria). Aunque como norma general se recomienda que esta petición se realice semanalmente, con los datos de los últimos siete días, a fin de ir ajustando las dosis de riego a la evolución climática de los últimos días. Las necesidades hídricas de las parcelas seleccionada por el usuario

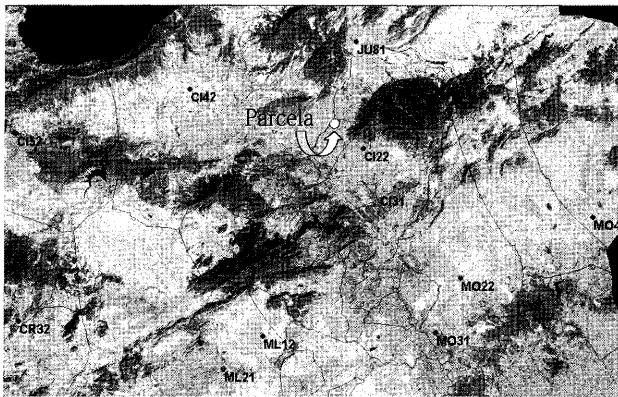
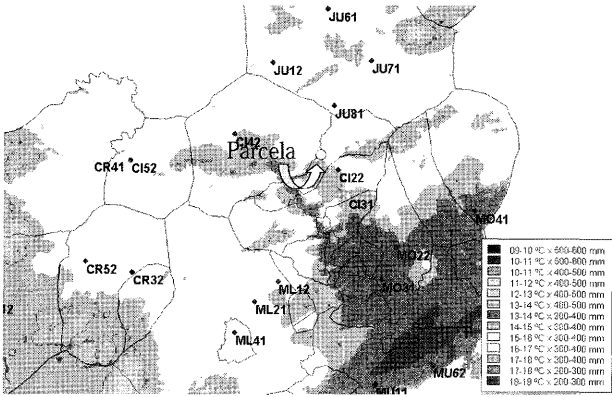


Imagen de julio: Landsat TM 5 Bandas 543.



Mapa de precipitación y temperatura.

(una, varias o todas) se calculan de forma automática y en unos minutos, con lo que cualquier técnico puede elaborar cientos de informes personalizados de forma sencilla y rápida, de ahí la utilidad para los técnicos de cooperativas y comunidades de regantes, que elaboran recomendaciones de riego periódicas para las parcelas que asesoran.

La importancia de elegir la estación agroclimática de referencia más apropiada según la localización de la parcela, puede verse en (3), donde en función de la estación climática de referencia, la variedad y la variación climática interanual, las necesidades hídricas totales del melocotonero oscilan entre el 11 y el 19 % respecto a los valores del año medio durante los tres últimos años en la Región de Murcia.

Ejemplo de evapotranspiración media mensual

Otro aspecto fundamental es el disponer de la información necesaria para poder seleccionar la estación climática de referencia adecuada a una determinada parcela de cultivo, mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG) que permite elegir, la estación de referencia más adecuada para una parcela en función de la altimetría, distancia a la estación y zona climática a la cual pertenece (2). La escala de trabajo para la consulta al Sistema de Información Geográfica es 1:200.000. Actualmente el acceso al SIG para los usuarios se realiza mediante el empleo de un formulario disponible en nuestro servidor WWW, estando pre-

visto que en los próximos meses se ponga en marcha un acceso directo a un Servidor SIG basado en la herramienta *Internet Map Server de ESRI* y *ArcView Gis*, de forma que los usuarios puedan determinar con precisión la estación climática de referencia mas adecuada para su parcela.

Conclusiones

El empleo de las tecnologías de la información para el asesoramiento técnico, permite un acceso fácil, universal y de bajo coste para los regantes que basen la elaboración de sus programas de riego en la evolución climática diaria, como es el caso de la Región de Murcia mediante la información facilitada por la red agrometeorológica regional y el SIAM. De lo que se deduce la importancia de estas tecnologías como medio de transferencia tecnológica y difusión de información de interes para el sector agrario especialmente en zonas con pocos recursos hídricos como es el sudeste español.

Bibliografía

1. Cimís (1998): California Irrigation Management Information System. California Department of Water Resource and the University of California at Davis.
2. Erena M., Navarro E., Rincón L., Garrido R. (1998): Los sistemas de información geográfica en

- la caracterización agroclimática. Riegos y Drenajes XXI. 103/98. 20-24.
3. Erena M., Fontes C., Soler M.D., Caro M., Lozano J., Rincón L., (1999): Necesidades hídricas del melocotonero en la región de Murcia. VIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Murcia.
 4. Hoare E.R., Garzoli K.V., Blackwell J. (1974). Plant water requirements as related to trickle irrigation. Second Int. Drip Irrig. Congress. San Diego. California.
 5. Keller J., Karmeli D. (1974). Trickle Irrigation Desing Rain Bird,. Glendora. California.
 6. Rincón L., Erena M., Caro M., García F., García A. (1998): The agrarian information service of Murcia Region-SIAM. 1st Inter-regional conference on enviroment-water: innovative issues in irrigation and drainage. Lisboa.
 7. Simone O., Battista P., Conese C. (1998): Internet per la diffusione di avvisi agrometeorologici. L'Informatore Agrario 2/98, 77-80.

Modelos locales de gestión de aguas subterráneas en el regadío valenciano

■ **Marta García Mollá**

Virginia Vega Carrero

Departamento de Economía y Ciencias Sociales

Universidad Politécnica de Valencia

La superficie de riego con aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana

Si los principales datos de los regadíos españoles y también valencianos son en general desconocidos, aún lo son más los que utilizan agua subterráneas al ser su titularidad privada hasta 1985. Aunque la Administración Pública, mediante el Registro de Aguas Privadas y el Catálogo, ha intentado controlar estos aprovechamientos, es evidente que no lo ha conseguido. Uno de los datos desconocidos es la superficie regada según el origen del recurso utilizado; esto es, la superficie regada con agua superficial y subterránea.

El Censo Agrario del I.N.E. ofrece datos de la superficie regada según el origen del recurso (Tabla 1), diferenciando entre superficie regada con aguas subterráneas y superficiales, correspondiendo a cada una aproximadamente la mitad de la superficie.

Otra fuente que ofrece estos datos es “Los recursos Hídricos en la Comunidad Valenciana” (5). Según estos datos algo más del 51% de las tierras valencianas se riegan con aguas subterráneas. El mayor porcentaje

se alcanza en Castellón con algo más del 80%, lo que contrasta extraordinariamente con los datos del Censo Agrario que acabamos de mostrar, según los cuales únicamente se riegan con agua subterránea el 33% de la superficie de esta provincia. Hay que tener en cuenta que en ninguno de los dos casos se muestra la superficie que se riega con agua de las dos procedencias mixtas.

El Libro Blanco del Agua de la Comunidad Valenciana (6) muestra que de las 323.400 ha de riego totales de la Comunidad Valenciana, aproximadamente 126.000 hectáreas regaban con aguas subterráneas (40% del total) y 16.000 hectáreas lo hacían con aguas mixtas (5%).

Vemos como las diferencias no se encuentran únicamente en la superficie regada con aguas subterráneas, sino que también encontramos grandes discrepancias en la superficie total regada.

Mediante una estimación propia, a partir de los datos de superficies de los impresos 1-t de la Comunidad Valenciana y del Registro de las Confederaciones¹ hemos estimado la superficie que se riega con aguas

1. Ver Carles y otros (1).

Tabla 1
Tierras labradas en regadío según el origen del recurso. 1989. (Hectáreas)

| | <i>Alicante</i> | | <i>Castellón</i> | | <i>Valencia</i> | | <i>Comunidad Valenciana</i> | |
|-------------|-----------------|-------|------------------|-------|-----------------|-------|-----------------------------|-------|
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Superficial | 28067 | 32,9 | 30062 | 67,0 | 74522 | 56,6 | 132651 | 50,7 |
| Subterránea | 57338 | 67,1 | 14794 | 33,0 | 57067 | 43,4 | 129199 | 49,3 |
| TOTAL | 85405 | 100,0 | 44856 | 100,0 | 131589 | 100,0 | 261850 | 100,0 |

Fuente: Censo Agrario 1989. INE.

superficiales subterráneas y mixtas. Los datos obtenidos aparecen en la Tabla 3. Según estos datos aproximadamente el 70% de la superficie regable valenciana utiliza en alguna medida aguas subterráneas, lo que pone de manifiesto la importancia de la correcta explotación de los acuíferos.

Las entidades de gestión del riego con aguas subterráneas

Aunque en la Comunidad Valenciana existen usuarios individuales que explotan pozos privados para riego, lo habitual es que la gestión de las aguas subterráneas sea colectiva. El escaso tamaño de las explotaciones y de las parcelas ha favorecido el proceso de creación de entidades colectivas para la explotación de pozos para riego.

Las entidades de gestión de aguas subterráneas para riego adoptan diversas formas, en función del tipo de derecho al uso del agua. Mostraremos a continuación los tipos de entidades de riego de la Comunidad Valenciana que utilizan aguas subterráneas para riego, ya sean utilizadas conjuntamente con aguas superficiales o sin ellas.

- Comunidades de Regantes Tradicionales con dotaciones mixtas de aguas superficiales y subterráneas.

- Comunidades de Regantes derivadas de Planes del Estado con aguas superficiales y subterráneas (Nuevos Regadíos).

- Entidades de riego con aguas subterráneas:

Sociedades Agrarias de Transformación con aguas subterráneas y Sociedades Civiles de pozos con aguas subterráneas.

Aunque los dos primeros tipos de entidades utilizan aguas superficiales, únicamente la primera mantiene las características de las Comunidades de Regantes y los modos de organización y gestión propios de este tipo de entidades. Las Comunidades de Regantes derivadas de planes del Estado regadíos agrupan a asociaciones de regantes que regaban con aguas subterráneas antes de la actuación del Estado. Estas entidades mantienen su organización independiente, siendo la única función de la Comunidad de Regantes el reparto del agua superficial.

Las entidades que únicamente utilizan aguas subterráneas tienen una evolución espectacular, a partir de finales de los años cincuenta coinciden en la Comunidad Valenciana una serie de factores que, conjuntamente, favorecieron el aumento del área regada, principalmente dedicada al cultivo de cítricos. En una situación de mercado favorable para los productos agrarios valencianos y con la posibilidad de obtención de recursos con muy pocas trabas o controles administrativos, se produce un proceso de expansión de la superficie regada con aguas subterráneas.

Sólo a partir de la Ley de Aguas 1985 se crean algunas Comunidades de Regantes que utilizan únicamente aguas subterráneas, al ser este tipo de entidades las únicas que podían acogerse a las ayudas públicas, de la Administración estatal y autonómica, para racionalización y mejora del uso de agua para riego. No

obstante ni sus prácticas de administración del riego, ni el origen de los recursos resulta modificado por esta transformación.

En estas asociaciones el derecho al uso del agua se adquiere mediante la compra de “acciones” de un pozo que dan derecho a un determinado tiempo de riego o a determinada superficie. Aunque no siempre ocurre, las acciones suelen estar ligadas al suelo, de forma que no se puede vender de forma independiente.

Las asociaciones que distribuyen únicamente agua subterránea, suelen tener una dimensión notablemente menor que las Comunidades de Regantes tradicionales. Por ejemplo, las SAT de Benicarló tienen una dimensión desde 20 hasta 67 ha y las asociaciones de regantes de Vall d’Uixó van desde 70 hasta 876 ha, con una media de 160 ha. En las provincias de Valencia y Castellón las entidades de riego colectivo con aguas subterráneas raramente alcanzan las 200 ha. Es en la zona del centro y sur de Alicante se encuentran las asociaciones con mayor dimensión.

Las entidades de riego con aguas subterráneas no incurren en cánones ni tarifas públicas ya que son propietarias o administran todas las infraestructuras y gestionan todo el ciclo, desde la obtención del recurso hasta la conducción a pie de parcela.

Estructura organizativa y de gestión

Las sociedades de riego con aguas subterráneas están muy extendidas por toda la Comunidad y, aunque por lo general suelen tener más cuidado en la gestión del recurso que las entidades que gestionan aguas superficiales, sus modos de organización son muy variables. Estudiamos los modos de organización y gestión de los riegos en las entidades de dos municipios de la provincia de Castellón –Vall d’Uixó y Benicarló– en los que los modos de gestión del riego son muy diferentes.

Aunque la mayor parte de la superficie de Benicarló es regada por aguas procedentes de pozos individuales, existen en el término municipal veinte Sociedades Agrarias de Transformación que riegan aproximadamente el 30% de la superficie. Cada S.A.T. a sus socios por medio de los motores que se ponen en marcha automáticamente, en cada parcela hay un contador y el agricultor paga el agua que consume, además es él quien lo realiza. En este término municipal, cuando el riego es por gravedad, el agricultor es el que aplica el agua.

La Comunidad General de La Comunidad General de Regantes de Vall d’Uixó² se constituyó muy recientemente con la finalidad de ordenar los aprovechamientos subterráneos del término municipal. Está integrada por el Ayuntamiento –consumo urbano– y por la totalidad de sociedades civiles de pozos, en número de dieciséis, y las dos cooperativas de riego del término municipal. La escasez de recursos y la progresiva salinización de los mismos como consecuencia de la explotación del acuífero propició que por indicación de la Confederación Hidrográfica del Júcar se constituyese esta Comunidad, con la finalidad indicada, si bien por el momento únicamente actúa administrativamente, manteniéndose la independencia de la gestión de las entidades privadas, hasta el momento no se ha tomado por la Comunidad de Regantes ninguna decisión que imponga limitaciones al riego e incluso al sistema de distribución de agua.

Formalmente, la Comunidad General de Regantes es la encargada de la gestión del regadío del término municipal, mediante la explotación de los recursos subterráneos de la zona y otros recursos existentes, como los excedentes invernales del manantial de San José y aguas procedentes de la depuración; pero a medida que van tramitándose las concesiones de los pozos antiguos a la Comunidad, por cambio de situación o de características de los pozos, la Comunidad

2. El C.V.E.R. (Centro Valenciano de Estudios para el Riego) ha estudiado la problemática del riego en este término municipal, por lo que disponemos de estimaciones de los consumos de aguas de riego para once de las entidades de riego.

los pone a disposición de la sociedad correspondiente, solo en algunos casos se ha producido la integración de sociedades en una nueva de mayor dimensión.

La organización de los riegos es similar en todas las entidades de riego integradas en la Comunidad General de Usuarios de Vall d'Uixó. La distribución del agua es realizada por las sociedades o cooperativas entre sus socios y a través de sus propias conducciones. El riego se realiza a la demanda del agricultor, sin turnos. Cuando en alguna ocasión algunos miembros de la Junta General de la Comunidad General de Regantes propusieron la obligatoriedad de que las sociedades impusieran a sus regantes el riego a demanda por turnos fue rechazado mayoritariamente.

En cuanto a las técnicas utilizadas, en Benicarló donde la mayoría de las S.A.T. disponen de riego por goteo a la demanda. En Vall d'Uixó el riego es mayoritariamente por inundación con caballones. El riego por goteo empieza a extenderse por iniciativas individuales en fincas grandes y por iniciativa de alguna sociedad colectivamente si bien es todavía muy minoritario. Recientemente una Sociedad ha establecido el sistema para 1.000 hanegadas (83,5 ha) y hay otras 4.500 hanegadas (375 ha) en proyecto.

De igual modo, aunque el control no suele ser suficiente, las situaciones son muy diversas en cuanto al control. En las S.A.T. de Benicarló cada parcela dispone de un contador por lo que la medición de consumos es correcta. En la Comunidad General De Usuarios de Vall d'Uixó no hay control objetivo de consumos. Solo se controlan las horas de un caudal teórico, normalmente superior al real, sobre todo en verano.

Las entidades que riegan con aguas subterráneas no tienen ni han tenido limitaciones a la expansión de la superficie regada, esto ha determinado que las cantidades de agua ahorradas puedan ser empleadas en regar superficies adicionales. Así, el beneficio que se obtiene al transformar una unidad adicional de superficie

compensaría la inversión necesaria en la superficie ya regada para mejorar la eficiencia y conseguir el agua necesaria. Estas entidades presentan en general eficiencias en el uso del agua más elevadas que las entidades que riegan con aguas superficiales.

Un fenómeno observado en el regadío valenciano, que se acentúa en este tipo de entidades es la complejidad de las redes de riego lo que conlleva dificultades de control y manejo del agua (Carles y otros, 1998). Esto es debido a que el área regada se configura a medida que los agricultores compran "acciones" del o de los pozos de la sociedad. Con posterioridad se realiza el trazado de las redes para llegar a todas las parcelas que han adquirido el derecho al riego. A esto se añade la pequeña dimensión que por lo general tienen estas asociaciones configurando un diseño de redes con excesivo número de conducciones y longitud de las mismas, numerosos cruces y tomas, lo que incide de manera decisiva en la eficiencia del riego³.

En Las S.A.T. del Término Municipal de Benicarló todas las conducciones están entubadas, alcanzando así una eficiencia elevada. Las parcelas de los socios aunque no están exactamente alrededor del pozo, sí están próximas con lo que en general la zona regable de cada pozo es un polígono cerrado y próximo al pozo. Cada entidad establece sus propios límites a la expansión de la superficie y no se permite en general llevar el agua a puntos alejados del pozo.

En la Comunidad General de Usuarios de Vall d'Uixó la distribución la realizan las entidades de riego entre sus socios y la Comunidad no interviene en el reparto ni en el control de los recursos de que dispone cada sociedad. La mayor parte de las sociedades regulan exclusivamente con los pozos y un pequeño número de balsas. La Cooperativa de Riegos de Vall d'Uixó dispone de una balsa de regulación diurna-nocturna para la reutilización de las aguas residuales urbanas, en la que se embalsa por la noche y se riega durante el día

3. Publicado en Carles Genovés, J. Ll. Avellà Reus y M. García Mollá (1). Se estudia la relación de los aportes del agua en las parcelas con el tamaño de las mismas para diversas entidades de riego con aguas subterráneas de término municipal de Vall d'Uixó. Se concluye que existe evidencia de relación inversa entre consumo unitario y tamaño de las parcelas.

y algunas sociedades disponen de sistemas de regulación para servir el riego por goteo a determinadas zonas. Prácticamente todas las redes de las Sociedades son de hormigón abiertas, si bien se está cambiando por tubería cerrada. Como se deriva de lo expuesto anteriormente, la eficacia de las inversiones es muy baja pues cada Sociedad tiene sus propias redes para alcanzar las explotaciones de sus asociados con multitud de cruces y duplicaciones innecesarias. En los últimos años, prácticamente todas las inversiones de las Sociedades se han realizado, con la mediación de la Comunidad General de Usuarios, acogiéndose a los planes de modernización de la Generalidad Valenciana con una subvención del 40%.

Según los datos ofrecidos por las SAT del término municipal de Benicarló el consumo medio por hectárea y año estaría en torno a los 3.300 m³/ha para cítricos. Mientras que las entidades de riego de Vall d'Uixó los aportes oscilan entre 6.000 y 11.000 m³/ha (ver Tabla 5).

Los costes del riego oscilan entre las 10 y las 19 pesetas/m³ en Benicarló (Tabla 4) y las 9 y las 72 pesetas/m³ en las entidades entrevistadas en Vall d'Uixó (Tabla 4).

Conclusiones

A pesar de las características que tienen en común las dos entidades estudiadas —están en una zona geográfica próxima y únicamente utilizan aguas subterráneas—, los modos de gestión del agua de riego son muy distintos. Mientras en un caso el riego está totalmente automatizado y se alcanzan altos grados de eficiencia, en el otro —Vall d'Uixó— las redes de riego son altamente ineficientes.

Muchos son los factores que determinan la eficiencia en el uso del agua:

– La naturaleza del derecho al uso del agua y el modo en el que se adquiere determina el tipo de entidad.

– Los agricultores deciden la cantidad de agua de riego en función de factores locales: los modos y costumbres de cada zona y los factores edáficos y climáticos.

– Los aspectos económicos no parecen tener influencia sobre la eficiencia en el uso del agua. El valor del producto marginal del agua es muy elevado en el regadío valenciano y en los niveles de costes de agua actuales no existen incentivos para el ahorro⁴.

– Las mejoras de la eficiencia que se producen por el intento de estas entidades de maximizar la superficie de riego, ya que no han tenido ninguna limitación legal para hacerlo. Los regantes se comportan con racionalidad económica, ya que el beneficio obtenido al poner una hectárea adicional de terreno en regadío, es superior al coste de la inversión en mejora de las instalaciones que lo ha permitido.

– A medida que los regantes de una determinada zona adquieren el derecho al uso del agua mediante la compra de acciones de una entidad, ésta extiende su red de riego para que el agua llegue a las parcelas de los compradores, sin que, normalmente, exista ninguna limitación en el área regable por cada entidad.

– Las mejoras de la eficiencia no suponen mejoras en el estado del acuífero. Generalmente en las zonas donde se alcanzan eficiencias más elevadas son zonas donde los acuíferos presentan una explotación más severa. Para corregir este efecto sería necesario limitar las extracciones del acuífero, o en su defecto la superficie de riego, para esto sería necesario que las Confederaciones Hidrográficas potenciaran sus atribuciones de vigilancia y control.

4. En la Tesis Doctoral realizada por Marta García Mollà y dirigida por D. José Carles Genovés, se estudia la influencia del coste del agua de riego sobre los aportes. Se concluye que los aportes de agua están influidos más directamente por otras variables, características edafológicas y climáticas, costumbres de cada zona, etc., que por el coste del recurso.

Bibliografía

1. CARLES GENOVÉS, J.; L.AVELLÁ REUS y M. GARCÍA MOLLÁ (1998). Precios, costos y usos del agua en el regadío mediterráneo. *Congreso Ibérico sobre gestión y planificación de aguas*. Zaragoza, septiembre de 1998. pp. 231-256.

2. CARLES GENOVÉS, J.; L.AVELLÁ REUS y M. GARCÍA MOLLA (2000). Aspectos económicos y sociales de la utilización del agua subterránea en la Comunidad Valenciana.

3. CONSELLERIA D’OBRES PUBLIQUES URBANISME Y TRASPORTS (1985). Libro Blanco del Agua en la Comunidad Valenciana. Situación actual y bases para una nueva política hidráulica. Direcció General d’Obres Públiques. Generalitat Valenciana.

4. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1986). Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. Ministerio de Industria y Energía. Secretaría General de la Energía y recursos minerales.

5. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1996). Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente.

6. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE (1994). Libro Blanco de las aguas subterráneas. Serie Monografías.

Tabla 2
Superficie regada en la comunidad valenciana. (Hectáreas)

| | <i>Alicante</i> | <i>Castellón</i> | <i>Valencia</i> | <i>Comunidad Valenciana</i> |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|
| | ha | ha | ha | ha |
| Subterránea | 30.452 | 44.311 | 68.745 | 143.508 |
| TOTAL | 62.812 | 53.031 | 164.057 | 279.900 |

Fuente: “Los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana” Instituto Geominero de España. Conselleria de Agricultura y Medio Ambiente. Madrid. 1986.

Tabla 3
Evaluación de la superficie de riego según el origen del recurso. Año 1996. (Hectáreas)

| | <i>superficial</i> | <i>mixta</i> | <i>subterránea</i> | <i>total regable (*)</i> |
|---------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------------|
| Total | 110.753 | 113.235 | 152.104 | 376.092 |
| % respecto al total | 29,5 | 30,1 | 40,4 | 100 |

(*)incluye la superficie de barbecho y otras superficies no cultivadas. Es por esto que estas cifras difieren de las mostradas en el cuadro 4.3.
Fuente: impresos 1-t. Conselleria de agricultura y elaboración propia.

Tabla 4
Tarifas y coste del agua en las sat del término municipal de Benicarló

| S.A.T. | Tarifas pagadas por los agricultores | | | Coste total final | |
|-------------|--------------------------------------|---------|----------|-------------------|----------|
| | Variable | Fijo | Averías | Ptas/m³ | Ptas./Ha |
| | (Ptas./ha) | Ptas/m³ | Ptas./ha | | |
| CADUF | 9 | 18.000 | 16.000 | 18,96 | 61.625 |
| FOSA PASTOR | 9 | 6.000 | 8.000 | 13,24 | 43.700 |
| POZO JARA | 9 | 10.000 | 17.500 | 17,33 | 57.200 |
| SAN LLORENÇ | 9 | 7.951 | 15.500 | 16,71 | 55.151 |
| COBATELLES | 7 | 10.000 | 0 | 10,00 | 33.100 |
| DALME | 10,5 | 10.000 | 0 | 13,53 | 44.650 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
Consumos y costes del agua en las entidades de riego deVall d’Uixó (1996)

| Entidad | Consumo (m³/ha.) | Coste del agua (ptas./ha.) | Coste del agua (ptas./m³) |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| Rambleta (1) | 10.077 | 231.887 | 22,90 |
| San Cristóbal (2) | 8.289 | 103.297 | 12,52 |
| Miramar (3) | 5.792 | 303.457 | 72,34 |
| San Isidro (2) | 10.805 | 92.495 | 8,56 |
| El Porvenir (4) | 8.948 | 123.110 | 13,83 |
| Unión Agrícola (2) | 7.892 | 184.774 | 23,65 |
| Cerverola (2) | 10.015 | 250.467 | 29,06 |
| Coop. Riegos Vall d’Uxó (5) | 9.878 | 217.717 | 22,16 |
| El Maquial (2) | 6.042 | 341.714 | 57,85 |
| San Pedro (2) | 9.817 | 176.302 | 20,44 |
| La Regeneración (1) | 6.104 | 81.709 | 13,52 |

(1) Media de los años 1992, 1993, 1994, 1995 y 1996.
(2) Media de los años 1995 y 1996.
(3) Media de los años 1994, 1995 y 1996.
(4) Media de los años 1994 y 1995.
(5) Media de los años 1993, 1994, 1995 y 1996.

Los tratamientos secundarios y terciarios en el reuso de las aguas

■ *Ernesto Hontoria García*

Generalidades

El comentar la importancia del agua, por un lado en la zona en que estamos ubicados es cuanto menos atrevido, pues todos los presentes a este Congreso, e incluso todos los lugareños lo saben mucho mejor que quien os habla; por otro lado en ésta y otras mesas hay personas que hablarán y han hablado en profundidad sobre el tema.

Pero esta escasez y los costos de poner en el lugar de uso, agua en las condiciones óptimas de la demanda ha hecho que los técnicos de la ingeniería sanitaria nos hayamos puesto las premisas siguientes:

- 1) Depuremos las aguas residuales, para conseguir que nuestras aguas superficiales y subterráneas estén en óptimas condiciones de calidad, no sólo para volverlas a utilizar, sino también para que nuestro entorno esté en las mejores condiciones.
- 2) En caso de utilización directa, reutilización de aguas depuradas, démosle el tratamiento terciario adecuado para su uso posterior.

Pretendo que en estos pocos minutos de mi intervención profundicemos en estos dos puntos.

Respecto al primero, la evolución de la depuración de las aguas sucias data de los Hititas con la utilización de sistemas naturales, 650 a.C., y de sistemas convencionales a primeros del siglo XX. Tanto unos como otros se siguen utilizando actualmente, pero nuestra sociedad, por un lado cada vez más exigente con la conservación del medio ambiente, ha obligado a nuestros políticos a marcar leyes, como la D 271/91, que no sólo obliga a tratar las aguas de pequeños núcleos, de 2.000 hq, sino que han fijado parámetros contaminantes más exigentes a la salida de las depuradoras y por otro esta sociedad del bienestar, ha ido edificando en todos los lugares accesibles, por lo que está obligando a sistemas de depuración más reducidos y con los mínimos impactos negativos.

Todo ello ha hecho que los investigadores nos pongamos a trabajar para conseguir sistemas de depuración que cumplan estos condicionantes y día a día van apareciendo los que aquí yo llamo sistemas avanzados de depuración.

A finales de los 70 y principios de los 80 se desa-

rollan sistemas de depuración en doble etapa, donde se realiza una selección natural de los microorganismos que degradan la materia orgánica, entre estos sistemas, fango activo-fango activo, es importante destacar el de Alta-Media Carga, donde en el primer reactor dado, entre otros aspectos, a su bajo tiempo de retención sólo se deja trabajar a bacterias, que además de tener un alto grado de multiplicación tienen la particularidad de acomodarse a los cambios del agua influente, habiéndose apreciado hasta 200 mutaciones; en este tipo de reactor se consigue rendimiento de hasta un 70%, por lo tanto el doble del tratamiento primario convencional y algo superior a los tratamientos físico-químicos, pero con las ventajas de no tener que hacer constantemente un ensayo de coagulación-floculación y de no tener una mayor producción de fangos no utilizables, otra de las grandes ventajas de este sistema es la disminución del consumo energético, que puede llegar a alcanzar un ahorro del 20%.

Aquí en España tenemos varias plantas con este sistema tales como Las Palmas, Telde, Onteniente, Elche, Sanlúcar de Barrameda, Lorca, Azpeitia y Melilla, y en fase de construcción Alcantarilla y Molina de Segura.

Siguiendo con los sistemas de depuración avanzada y solucionando la falta de espacios en la ubicación de las depuradoras, los investigadores buscan un sistema donde el tratamiento secundario se realiza en un solo elemento, en lugar de los dos convencionales de reactor y clarificador, aparece 10 años más tarde de los sistemas de doble etapa, los lechos inundados que con alguna que otra variante consiguen dentro del mismo elemento el desarrollo de una biopelícula que se fija a un material soporte, que no sólo consigue la degradación de la contaminación sino la retención de los sólidos, saliendo el agua depurada del elemento. En España tenemos tres plantas de este tipo, Ibiza, Puerto de la Cruz y Puerto de Santamaría, estando en este momento Benalmádena en construcción.

Las últimas investigaciones van hacia sistemas combinados que unan distintos métodos, como son los

lechos fluidificados, así como la combinación de los citados anteriormente.

El defecto de nuestros responsables en la construcción de plantas depuradoras es que además de que siempre van con prisas, para diseñar y adjudicar, no así para que funcionen, de todos es conocido casos donde una planta está acabada y no funciona pues la materia prima no le llega, ejemplos de este tipo existen en todo el territorio nacional; también debemos decir que tanto la Administraciones como las empresas privadas no invierten lo necesario en investigación.

La segunda de nuestras premisas para minimizar la escasez de agua es la reutilización de las aguas depuradas, pensemos que el caudal de residuos líquidos en España es de unos 16 millones de metros cúbicos al día, lo que supone la importante cifra de 5.840 Hm³, pero es preciso que acondicionemos las depuradoras y luego realicemos el tratamiento terciario adecuado al uso que vayamos a darle, es verdad que no en todo el territorio se precisa de la reutilización. Referente a esto tenemos encima del tapete una propuesta de Real Decreto para el reuso de estas aguas y en líneas generales se deben tomar las siguientes consideraciones:

- Escasez del recurso.
- Existencia de demanda.
- Uso y calidad que se precisa.
- Limitaciones higiénico-sanitarias.
- Tratamientos posibles e instalaciones complementarios.
- Justificación económica.
- Centrales precisas.

En esta propuesta de R.D. de reutilización se han considerado las siguientes bases principales:

- Ley sencilla. Es decir que sea fácil y se pueda ampliar.
- Ley abierta y por lo tanto susceptible de aceptar modificaciones, no sólo por nuevas exigencias, sino por avances de la tecnología en este campo.

– Ley con exigencias mínimas de forma que otras autoridades competentes puedan promulgar calidades más estrictas.

Asimismo fija tres prohibiciones de reutilización del agua depurada.

– Para el Consumo humano, exceptuando situaciones de emergencia (RDPH. R.D. 849/86).

– En circuitos de refrigeración industrial alimentario y similares.

– En la cría de moluscos en Acuicultura.

Divide en catorce apartados los usos del agua regenerada, fijando siempre cuatro parámetros para el control de calidad, 2 biológicos y 2 físico-químicos, y solo en algunos reusos controla otro específico.

De entre los biológicos, los huevos de Nemátodos y el Escherichia Coli son los dos fijos y aparece la Legionella Pneumofahila en dos ocasiones. Cultivo de invernadero y en refrigeración industrial y la Taenia en cría de ganado, siendo los sólidos en suspensión y la turbidez los parámetros fijos y solo en dos ocasiones es preciso determinar el nitrógeno total, para estar en acorde con la legislación existente.

Los catorce usos del agua regenerada contemplados son:

1. Usos domiciliarios: Riego de jardines privados, descarga de sanitarios, sistemas de calefacción y refrigeración y lavado de vehículos.
2. Uso y servicios urbanos: Riego de zonas verdes de acceso al público (campos deportivos, golf, parques públicos...), baldeo de calles, sistemas contra incendios, fuentes y de agua ornamentales
3. Cultivos de invernadero.
4. Riego de cultivos de consumo en crudo y frutales regados por aspersión.
5. Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.
6. Riego de cultivos para la industria conservera y

productoras no consumidas en crudo. Riego de frutales no regados por aspersión.

7. Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes, cereales y semillas oleaginosas.

8. Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público.

9. Refrigeración industrial, excepto alimentaria.

10. Estanques, masas de agua y caudales circulantes de uso recreativo en los que está permitido el contacto del público con el agua (excepto baño).

11. Lo mismo, pero en los que está impedido el contacto del público con el agua.

12. Acuicultura. Cumpliendo A1 del R.D. 927/88.

13. Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno con 1,5 metros de espesor mínimo cumpliendo A1 de R.D. 927/88.

14. Recarga de acuífero con inyección directa cumpliendo A1 de R.D. 927/88.

En la reutilización para riego agrícola se tendrá en cuenta el R.D. 1310/90, donde los lodos de las plantas depuradoras no podrán superar en metales pesados esos límites y en tal caso se establece unas concentraciones máximas admisibles de estos, donde por ejemplo, entre otros, éstas son:

| | |
|---------------|---------|
| ALUMINIO..... | 20 mg/l |
| CADMIO..... | 2 mg/l |
| COBRE | 5 mg/l |
| PLOMO | 10 mg/l |
| NIQUEL | 2 mg/l |
| ZINC | 10 mg/l |

Igualmente en esta propuesta legislativa se establecen unos criterios de cumplimiento de control, donde se fijan:

- Puntos de toma de muestras.
- Tipos.
- Libros.

Donde dependiendo del tipo, bien de comprobación o de auditoria, y del punto de muestreo se responsabiliza o al explotador o al distribuidor.

De igual forma se establecen las frecuencias y los máximos desvíos en las concentraciones. Obligando llevar en dos libros, uno de control y otro de incidencias.

Las últimas investigaciones tienden a fijar el tratamiento terciario, óptimo para los distintos usos, donde pueden ser restrictivos no sólo los aquí indicados, sino los propios del uso, como pueden ser, la salinidad, en agricultura.

De aquí que los sistemas que se están optimizando sean:

- Filtración.
- Microfiltración.
- Ultrafiltración.
- Nanofiltración.
- Osmosis Inversa.

Y se sigue trabajando con los procesos de lagunaje y de electrodiálisis. Algunos de estos sistemas tienen que ir acompañados por desinfección donde la utilización de cloro se está viendo desplazada por la ozonización y los rayos ultravioletas.

De todas formas algunos de estos procesos consiguen la desinfección, tal y como puede verse en la figura que se expone al final.

De cualquier forma y tal como se comentaba la propuesta legislativa sobre reutilización, de ser abierta a nuevas técnicas y contaminantes, nos obliga como investigadores a incorporar la eficiencia de estos sistemas de membrana, en los últimos microcontaminantes que perjudican a todo nuestro medio; estoy hablando de disruptores hormonales, tales como nonifenoles, bisfenoles, y aphtalatos que las aguas pueden transportar afectando a todos los animales en deformaciones genéticas, cambio de sexo o tumores cancerígenos.

No quiero finalizar siendo tremendista y menos aún cubriéndome con la capa del Apocalipsis y puesto que

soy un fiel convencido de que los humanos hemos perjudicado con nuestro avance a la naturaleza, hasta el momento en que lo sabemos y es aquí donde, además de prohibiciones internacionales, la investigación científico-técnica corrige la deficiencia.

Y nada mejor refleja lo que estoy diciendo si nos remontamos 27 años atrás en el discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua de D. Miguel Delibes en que veía al hombre contemporáneo como aquellos tripulantes del navío que, cansados de la angostura e incomodidad de sus camarotes, decidieron utilizar las cuadernas de la nave para ampliarlos y amueblarlos. Veía como nuestro barco se hundía.

Señalaba a ese hombre obcecado por una porción dominadora persiguiendo un beneficio personal, ilimitado e inmediato, desentendiéndose del futuro.

Definía al siglo XX y su situación en diez puntos:

- El progreso contra el hombre.
- Hombres encadenados.
- El deseo del dominio.
- El equilibrio del miedo.
- La naturaleza, chivo expiatorio.
- Un mundo que se agota.
- La rapacidad humana.
- Un mundo sucio.
- Muerte en la tierra y en el mar.
- El hombre contra el hombre.

Compara en su discurso el concepto antiguo de obra permanente con un pensamiento actual de permanente renovación. Analiza como, antes la recomendación de comprarse un traje, era “Este traje le enterrará a usted”, “Tenga por seguro que esta tela no la gasta”. En el momento actual –para evitar el gran colapso económico– se fabrican telas para que se ajen, automóviles para que se estropeen, cuchillos para que se mellen, bombillas para que se fundan.

Y dice “Terminar con aquello que nos es imprescindible y cuyo final pudo preverse, revela un índice de rapacidad y desidia que dicen muy poco a favor de

la escala de valores que rige en el mundo contemporáneo”.

En mi modesta opinión, ya hemos comenzado a mejorar en estos 27 años. Estamos depurando nuestros residuos, sólidos y líquidos, en un 80% y estamos reutilizando los subproductos de nuestros residuos y, por tanto, estamos cambiando los diez puntos de Delibes en:

- Progreso hacia un desarrollo sostenible.
- Libertad del hombre en equilibrio con su medio.
- Sensibilidad hacia el medio ambiente.
- Juego equilibrado entre impactos y factores de corrección.
- Considerar la Naturaleza como madre común de todos los hombres.
- Huida del consumismo, evitar derroches y tender hacia la recuperación total.
- Pensar que somos herederos de un patrimonio común, nuestro medio ambiente, y que debemos admi-

nistrarlo adecuadamente para entregarlo a nuestros sucesores.

- Considerar la tierra como nuestro hogar.
- Luchar, sin pausa y con eficacia, contra la contaminación.
- Darnos cuenta de la necesidad de elevar a su justo punto los valores humanos, buscando colaboración, ayuda y justicia.

Ya no sólo estamos pensando que el Centro y Eje de todo es el hombre, sino también en su entorno, y así los grupos de mujeres y hombres estamos trabajando y debemos seguir haciéndolo con la mejor de las herramientas LA AMISTAD.

De esta forma terminaremos en esta provincia con casi el 10% de la red de colectores que falta y solucionaremos casi el 70% de la depuración de núcleos y el 90% de aguas industriales que quedan por depurar correctamente.

| TIPO DE MEMBRANA | | OSMOSIS INVERSA | | NANO FILTRACIÓN | | ULTRAFILTRACIÓN | | MICROFILTRACIÓN | | FILTRO DE ARENA | |
|---|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|--|
| <div>MATERIAS Y TAMAÑO</div> <div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div></div></div></div> | | | | | | | | | | | |

Gestión del agua en cuencas deficitarias

 **Antonio Nieto Llovet**

Asesor de Gabinete del Secretario de Estado de Aguas y Costas

Hacer frente a una sequía. Enseñanza y recomendaciones.

Panorámica general de una cuenca deficitaria:

- Los recursos disponibles.
- Las demandas. El balance.
- La regulación existente.
- Aguas subterráneas y otras fuentes de recursos.

El planteamiento ante un año hidrológico seco:

– Las reservas disponibles. La programación de usos.

- Las afecciones ambientales previsibles.
- Los periodos de decisión:

Otoño e invierno: La evolución pluviométrica. Los índices de sequía. Potenciar las reservas. Estado de las infraestructuras.

Primavera: Comienzo de los riegos. Las decisiones a tomar. Consultar y participación de los usuarios. Calendarios y cuantías. La esperanza de lluvias abril-ñías. Medidas a implantar. (Control y vigilancia: asegurar abastecimiento, Manejo infraestructuras).

Verano: No hay que contar con más agua. Cesión

de derechos. Las medidas extraordinarias. Pozos de sequía. Pozos de reserva. Desalaciones. Restricciones a la demanda.

La asignación de los recursos disponibles:

- Ley de Aguas y Plan Hidrológico de cuenca.
- Los derechos reconocidos.
- Órganos consultivos y de decisión. Art. 56 L.A.
- Comisiones de seguimiento.
- La representatividad de los usuarios. Los compromisos. El agravio comparativo.
- Seguimiento y control de caudales. El furtivismo.
- Sanciones y cierre de tomas. Precintado.
- La ineludible prórroga de días de riego.

Finaliza el año hidrológico

- Llega septiembre. Situación de disponibilidades.
- Último riego frente a reservas próximo año. Seguro que llueve.
- El ciclo dramático-hidrológico se inicia nuevamente (cierre de embalses, empeoramiento de la calidad, la evolución pluviométrica del otoño, etc.).

Experiencias y recomendaciones

Estructurales

– Después de un año seco, puede venir otro peor (hidrológicamente hablando).

– La capacidad de regulación en la cuenca, debe tenerse desarrollada al máximo. Las reservas almacenadas juegan un papel decisivo para salvar el año.

– Siempre existen zonas de déficit o tardío suministro que generan conflicto si al acabar los días de riego no han recibido el agua. Disponer de infraestructuras que flexibilicen al mayor grado el manejo de los caudales disponibles.

– El seguimiento y control en tiempo real de volúmenes circulantes y derivados del río se hace imprescindible. Hay que utilizar dispositivos y sistemas de información que reflejen las condiciones de cantidad y calidad de las aguas en determinados puntos clave del sistema. Las infraestructuras deben estar operativas para cualquier respuesta modificadora del régimen establecido.

– Mejorar la eficiencia del riego reduciendo la duración de las tandas o modernizando los sistemas de aplicación. (Aportación a tercios de acequias, redes en carga, etc.).

– Una sequía importante obliga a poner en operación la totalidad de recursos suplementarios disponibles. Pozos de sequía en el aluvial del río. Pozos de reserva sobre acuíferos sostenidos, plantas desaladoras de pequeño tamaño utilizando recursos salobres o salinizados. Salmueroductos. Desalación marina como aporte de garantía al sistema hidráulico.

No estructurales

– Potenciar los servicios de guardería y vigilancia. Redes secundarias de información.

– Establecimiento de programas de riego, según zonas y derechos existentes. Comprobación del cum-

plimiento de periodos establecidos y volúmenes derivados.

– Mantener criterios claros y contratables de la distribución y reparto de recursos. Compromisos que se contraen con los usuarios. Evitar carencias o merma de caudales por imprevisiones de explotación o inadecuado seguimiento en el control de los recursos.

– Convocar reuniones frecuentes y periódicas de la Comisión Asesora de Seguimiento de la campaña de riegos. Esta comisión será reducida en cuanto a miembros y lo más representativa posible de la zona de riegos. Informar con realismo de las incidencias que se vayan presentando. Posibles medidas correctivas a considerar.

– Estar muy al tanto de posibles situaciones de agravio comparativo entre zonas regables, por el potencial conflicto que pudiera plantearse. El regante admite una falta generalizada del recurso, pero no acepta una distribución sesgada que pudiera resultarle injusta.

– Proceder con energía en los casos de furtivismo o incumplimiento de compromisos de las zonas regables establecidas con anterioridad en la programación. Cerrar y precintar tomas, recurriendo si fuese el caso, al auxilio de la autoridad gubernativa. Imponer las sanciones adecuadas.

– Vigilar en estrecha colaboración con los representantes de los usuarios, la duplicidad del riego en una misma tanda o el despilfarro del recurso a nivel de parcela. Sancionar o impulsar la sanción por parte de la comunidad de usuarios.

Conclusiones

Las anteriores reflexiones cabe resumirlas en tres grandes principios:

– La situación de sequía requiere un cuidadoso proceder en cuanto a la distribución de los escasos recursos disponibles. Todas las infraestructuras de regulación y transporte de caudales deben estar plenamente

operativas y el personal responsable de la información, control y vigilancia de zonas regables en estado de continua alerta.

– Deben establecerse programas claros y contrastables, normalmente establecidos con la participación de los usuarios, para llevar a cabo el reparto de caudales, atendiendo los derechos reconocidos y las prioridades legales.

Hay que evitar situaciones de injusticia comparativa, que son detonantes de conflictos de inusitado alcance.

Será conveniente constituir una Comisión Asesora de Seguimiento convocada periódica y frecuentemente, que debe estar informada de la marcha de la campaña de riegos. Analizar las situaciones que se vayan presentando y recabar su opinión ante las medidas

correctoras. Los miembros de la comisión deben tener un cierto ascendiente sobre las zonas regables.

Por parte del Organismo de cuenca debe hacerse un significativo esfuerzo para llevar a fiel cumplimiento los programas de riego inicialmente establecidos.

– Hay que vigilar el previsible compromiso de los usuarios en cuanto a volúmenes y tandas de riego. El régimen sancionador ha de ser ejemplarizante y decisiones de cierre y precintado de tomas llevarlas a cabo, recabando auxilio de la fuerza pública si fuese el caso.

Tener previstas situaciones puntuales de socorro, que de no ser atendidas pudieran ser injustas ya que pueden ser ajenas a la voluntad del regante y atribuible en la mayoría de los casos a deficiencias del sistema de distribución o de la propia zona regable.

Abastecimiento de agua en cuencas deficitarias. Actuaciones posibles y problemas asociados

■ **Daniel Prats Rico**

Catedrático de Ingeniería Química

Director del Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales. Universidad de Elche

El agua en el mundo

Posiblemente los problemas tecnológicos más importantes que afectan globalmente a la humanidad son el abastecimiento de energía y de agua en las cantidades suficientes para su bienestar y desarrollo. En el caso de la energía los recursos disponibles proceden mayoritariamente de fuentes no renovables (y por tanto limitadas en el tiempo), además su empleo provoca graves problemas ambientales (lluvia ácida, deterioro de la capa de ozono, cambio climático, contaminación radioactiva) y son claramente insuficientes para abastecer a los países en vías de desarrollo. En el caso del agua los problemas principales son los desequilibrios entre recursos y necesidades en múltiples áreas geográficas (regiones desérticas, cuencas deficitarias, aglomeraciones urbanas, etc.), el deterioro de la calidad, los costes y problemas de su regulación y almacenamiento, y los consumos energéticos implicados en su transporte y en las nuevas tecnologías de aprovechamiento (reutilización, desalación).

Los recursos globales de agua en la Tierra (aproximadamente 1,4.109 km³) están mayoritariamente en

los océanos. Como se muestra en la figura 1 (Shiklomanov, 1999), únicamente el 2,5% del volumen total de agua en el mundo es agua dulce, y de ésta, sólo el 0,3% puede estar razonablemente disponible.

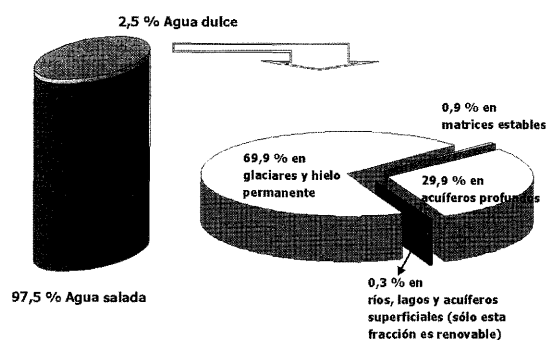


Figura 1. Los recursos totales de agua dulce en la Tierra.

Los recursos renovables de agua se originan en el ciclo del agua. Un 33% de la energía procedente del sol que llega a la tierra aporta el calor latente necesario para la evaporación de un gran volumen de agua que, condensado en las nubes en forma de agua y hielo, precipita posteriormente sobre los mares y continentes. Los volúmenes anuales evaporados o precipitados en océanos y continentes (Shiklomanov, 1999) se muestran en la figura 2.

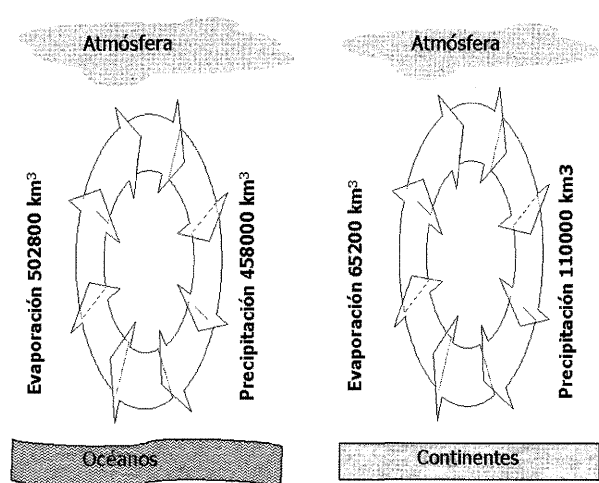


Figura 2. Ciclo simplificado del agua en toda la Tierra.

Como se puede deducir de la figura anterior, sobre los mares y océanos se evaporan anualmente 44.800 km³ más de los que se precipitan, que es precisamente la cantidad anual de agua que precipita en exceso sobre la que se evapora en los continentes, creando un flujo renovable sobre ríos y lagos (42.600 km³) y acuíferos (2.200 km³).

La distribución de este flujo renovable es muy irregular, con grandes zonas desérticas y otras de muy elevada pluviometría. En la Tabla 1 se indican las disponibilidades por continentes de los recursos potenciales, pudiéndose observar grandes diferencias en los recursos por km². Estas diferencias son más acusadas respecto a la disponibilidad específica por persona. Además, el aumento de población lleva a la disminución de las disponibilidades unitarias (en 1970 los recursos potenciales eran de 12,9 miles de m³ por persona, mientras que en 1994 fueron de 7,6, reduciéndose más

de dos veces la disponibilidad teórica en África y Asia).

A escala más reducida hay países con recursos muy abundantes y otros en los que son escasos (por ejemplo en Nueva Zelanda los recursos son de 89.400 m³ por habitante y año, mientras que en China son de 2.200 m³ por habitante y año). Como la población se reparte de forma muy desigual se presentan áreas o cuencas con recursos suficientes o en exceso y otras deficitarias, o sea que las necesidades de agua superan a los recursos disponibles. Por otra parte, varios factores que se producen a escala mundial como son la concentración de la población en grandes ciudades, la deforestación, el aumento de contaminación y las consecuencias del cambio climático, conducen a aumentar los desequilibrios y a que existan cada vez más áreas o cuencas deficitarias.

Las dificultades de aprovechamiento derivadas de factores tales como la viabilidad, capacidad tecnológica y costes de regulación de caudales, las posibilidades reales y costes de trasferencias de unas regiones a otras, la necesidad de mantener unos caudales ecológicos que son en muchos casos muy difíciles de determinar, o que los caudales disponibles tengan la calidad requerida a su uso, explican que actualmente unos 2.000 millones de personas sufran restricciones severas de agua de calidad. Si se considera el progresivo incremento de la población mundial y los posibles efectos negativos del previsible cambio climático, esta cifra pueda aumentar significativamente en los próximos años.

La dinámica de uso del agua

La alimentación, higiene, ocio, agricultura, industria y servicios que precisa el hombre, demandan grandes cantidades de agua (la Organización Mundial de la Salud estima que para cubrir todas las necesidades son necesarios como mínimo 1.000 m³ por persona y año).

La agricultura es sin duda el sector que más demanda caudales de agua en muchos países y regiones del

Tabla 1
Recursos de agua renovable

| Continente | Área Mkm² | Población (1994) | Recursos potenciales totales km³/año | Recursos potenciales unitarios 1000 m³/año | |
|------------------------|--------------|---------------------|---|--|---------------|
| | | | | Por km² | Por habitante |
| Europa | 10,46 | 685 | 2900 | 277 | 4,23 |
| Norteamérica | 24,3 | 453 | 78900 | 324 | 17,4 |
| África | 30,1 | 708 | 4050 | 134 | 5,72 |
| Asia | 43,5 | 3445 | 13510 | 311 | 3,92 |
| Sudamérica | 17,9 | 315 | 12030 | 672 | 38,2 |
| Australia y Oceanía | 8,95 | 28,7 | 2404 | 269 | 83,7 |
| Mundo | 135 | 5633 | 42785 | 317 | 7,60 |

mundo. El regadío de suelos se ha practicado por durante milenios, sin embargo, el mayor crecimiento de la superficie regada ha sido durante este siglo, principalmente hasta la década de los 70. En la actualidad la cantidad de tierras regadas se ha estabilizado en los países desarrollados pero necesariamente debe crecer en países en vías de desarrollo para atender a la demanda de alimento. En la figura 3 se muestra la evolución de los sectores con más consumo de agua (Shiklomanov, 1999).

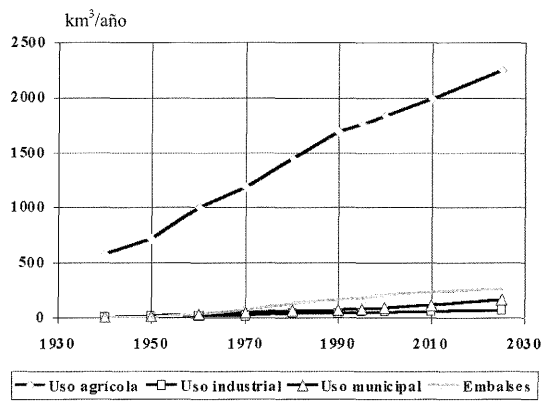


Figura 3. Evolución de los consumos de agua en el mundo por sectores

Es interesante resaltar el importante papel que, debido fundamentalmente a la evaporación, juegan los embalses en el consumo de agua. Durante 1995 la distribución de los consumos en Europa fue de 71,4% para agricultura, 5,6% para industria, 15,3% para uso municipal y 7,6% de embalses.

La situación en España

Según el Libro Blanco del Agua (Ministerio de Medio Ambiente, 1998), en España hay una escorrentía anual de 111.000 hm³, que equivale a 220 mm por m² de superficie, aunque la distribución por cuencas es muy irregular, con escorrentías de 700 mm en la Cornisa Cantábrica frente a 50 mm en la Cuenca del Segura. El Libro Blanco indica que de los 111.000 hm³ renovables se debe establecer una reserva ambiental de 22.000 hm³, con lo que quedan unos recursos poten-

ciales de 89.000 hm³. Con la regulación existente en la actualidad se puede disponer de unos 40.000 hm³ en todo el Estado.

La demanda global actual es de unos 35.000 hm³, 68% corresponde a regadíos, 18% a abastecimiento urbano e industrial y un 14% a refrigeración de centrales térmicas de producción de energía. La distribución de los usos consuntivos se muestra en la figura 4.

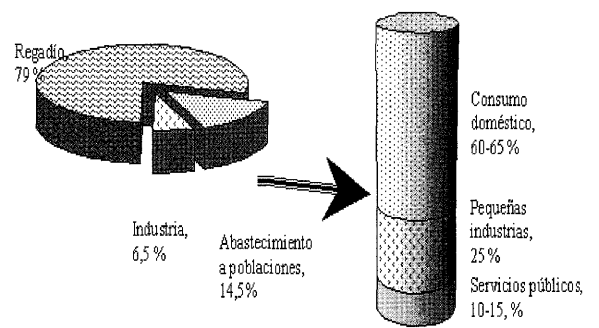


Figura 4. Distribución de los usos consuntivos de agua en España

Las demandas y los usos en las distintas cuencas y subcuencas son muy variables, por lo que se entiende que haya sistemas de explotación con escasez de recursos y otros con superávit respecto a sus necesidades actuales y futuras. Estas necesidades se han establecido en los correspondientes planes hidrológicos de cuenca, según los cuales:

- La cuenca del Segura es estructuralmente deficitaria, o sea, aún en el caso hipotético de máximo aprovechamiento de los recursos potenciales (los naturales más desalación y transferencias existentes) y máximo grado de reutilización, las demandas superan a los recursos.
- En las cuencas del Guadiana, Sur, Júcar y Ebro, hay también algunos sistemas de explotación con escasez estructural.
- La casi totalidad restante de las cuencas del Júcar y del Sur, y algunos sistemas del Guadalquivir, Ebro, Cataluña, Baleares y Canarias presentan escasez

coyuntural, normalmente asociada a periodos hidrológicos adversos.

– Las cuencas Norte, del Duero, del Ebro, y la cabecera y curso medio del Tajo son sistemas con superávit.

Un problema importante que dificulta el aprovechamiento es la falta de calidad requerida para los distintos usos posibles. Los vertidos urbanos e industriales, la contaminación difusa derivada del uso de fertilizantes y fitosanitarios y la contaminación de origen natural, conducen a un progresivo deterioro de los recursos, lo que reduce o inhabilita su aprovechamiento. Un claro y cercano ejemplo es la situación actual del río Segura en la Vega Baja. Un reflejo de la calidad de las aguas continentales en España se muestra en la figura 5 (Libro Blanco del Agua), en la que se muestra el Índice de Calidad General (calculado matemáticamente a partir de una fórmula de agregación que integra 23 parámetros de calidad de las aguas, 9 de ellos controlados en todos los casos y el resto usados en ciertas estaciones o períodos) que califica la calidad como excelente cuando se obtiene un índice entre 85 y 100, buena entre 75 y 85, regular entre 65 y 75, deficiente entre 50 y 65 y mala cuando es menor que 50.

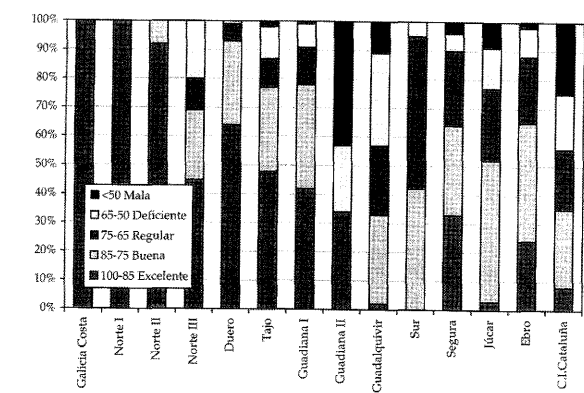


Figura 5. Situación de la calidad de las aguas superficiales expresada en porcentaje de longitud de la red fluvial según el Índice General de Calidad

En principio, un índice de calidad entre 50 y 0 implica prácticamente la imposibilidad de utilizar el agua para ningún uso y índices por debajo de 65 com-

prometen gravemente la mayor parte de los usos posibles. El resultado es que aproximadamente un tercio de la longitud de nuestra red fluvial presenta una calidad que no permite utilizar el agua para la mayoría de los usos. Por otra parte numerosos acuíferos presentan elevados grados de contaminación, fundamentalmente originados en la contaminación difusa derivada de usos de fertilizantes y fitosanitarios en agricultura. También hay muchas zonas del litoral con intrusión marina.

Actuaciones posibles en cuencas deficitarias

En sistemas de explotación o cuencas en los que la demanda supere a los recursos disponibles, cabe dos tipos de actuaciones: reducir los consumos y/o incrementar los recursos. La reducción de consumos se puede conseguir mediante minimización de pérdidas y mediante optimización de usos. El incremento de recursos se puede lograr mediante trasvase desde sistemas con excedentes, mediante recuperación de calidad y reutilización de aguas residuales o mediante desalación de agua salobres o agua de mar. Se examina a continuación cada una de estas posibilidades comentando las principales dificultades asociadas.

Reducción de consumos mediante minimización de pérdidas

La minimización de pérdidas de los recursos disponibles se puede conseguir mediante a) conservación, mantenimiento y modernización de las infraestructuras hidráulicas actuales (embalses, canales de riego, redes de abastecimiento urbano e industrial) y b) aumentando la capacidad de regulación

a) Conservación, mantenimiento y modernización de las infraestructuras hidráulicas actuales

– Más de 1.000 presas hay actualmente en servicio en España, con una capacidad total de embalse próxima a los 54.000 hm³. Además de la imprescindible

dible reparación de la presa en caso de fisuras o rotura, se debe mantener su capacidad de almacenamiento mediante el drenaje periódico de los sedimentos depositados. Esta actuación reduce además el riego de eutrofización, al evitar la movilización de nutrientes precipitados, lo que resulta fundamental en embalses que contengan agua de características prepotables para abastecimiento urbano. Las principales dificultades son los costes de la operación y el riesgo ambiental derivado de la deposición de los sedimentos extraídos.

– Muchas de las redes y canales de regadío son cauces de tierra sin revestimiento de impermeabilización, en algunos casos muy antiguas (el 70% con más de 20 años de antigüedad, de las que casi la mitad tienen más de un siglo), y frecuentemente muy deterioradas, lo que provoca pérdidas laterales además de filtraciones en el lecho (10 al 30%). Además, en los canales abiertos se produce evaporación y son susceptibles de recibir vertidos contaminantes sólidos o líquidos. En todos los casos se debe proceder a su rehabilitación y reparación y, cuando sea necesario, a su sustitución por tuberías cerradas e impermeables. Los problemas asociados a estas actuaciones son fundamentalmente los costes (en algunos casos las competencias para el control y ejecución de reformas es complejo debido a que en un mismo sistema de explotación pueden coexistir canales públicos junto con otros gestionados por comunidades de regantes).

– En el caso de redes de abastecimiento a poblaciones se dan también muy frecuentemente las situaciones de redes o tramos de redes muy antiguas y prácticamente obsoletas asociadas a pérdidas muy importantes en el suministro. En las redes de distribución dentro de poblaciones, debido a las múltiples ramificaciones y conexiones, cabría admitir hasta un 10 -15% de “pérdidas técnicas”; valores superiores deben ser evitados con la mejora y mantenimiento de las tuberías y con los apropiados medios técnicos que permitan detectar y cuantificar con rapidez la magnitud de las fugas. Recientes datos del Instituto Nacional de

Estadística (INE, 2000) derivados de una encuesta sobre 247 empresas abastecedoras de los principales núcleos urbanos, muestran que se pierde un 19,5% del agua distribuida. El principal problema se da sobre todo en pequeños municipios cuyos ingresos por el servicio son reducidos. Sin duda se debería plantear una adecuada política de tarifas que permita la conservación y mejora de las redes.

b) Incremento de la capacidad de regulación

– Teóricamente es posible estudiar si las cuencas deficitarias admiten más capacidad de regulación, logrando de esta forma la acumulación de caudales en periodos favorables para usarlos durante los periodos con escasez. Aparte de los costes, dos problemas importantes presenta esta alternativa. Por una parte, la necesidad de mantener caudales ecológicos durante todo el tiempo y por otra parte las fuertes evaporaciones que se producen en los embalses, (en las cuencas excedentarias la climatología suele ser de ambiente seco y altas temperaturas que favorecen la evaporación). En el Anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional (PNH), que se dio a conocer al Consejo Nacional del Agua el pasado 5 de noviembre, se prevé una inversión de unos 500.000 M. ptas para obras de regulación.

Reducción de consumos mediante optimización de usos

Para poder reducir los consumos de agua en sus diferentes usos se debe optimizar su aplicación (regadío, abastecimiento urbano, uso industrial) para la consecución de los objetivos correspondientes con el mínimo consumo.

– En el caso de regadío se debe procurar la máxima eficiencia de aplicación al cultivo, empleando los volúmenes de agua apropiados (para que no se afecte la salinización del suelo y los caudales de aguas subterráneas) mediante técnicas de riego localizado, que consiguen una significativa reducción de los caudales empleados (el riego por goteo puede ahorrar hasta un 25%

respecto al de aspersión y hasta el 50% respecto al de gravedad). Nuevamente el principal problema para la transformación de regadíos es el coste de las reformas. El proyectado PHN prevé una inversión de unos 950.000 M. ptas para modernización de regadíos. Complementariamente hay otras medidas de ahorro como la sustitución de cultivos o el regar en horas de nula o baja insolación, siempre que la disponibilidad del agua lo permita. También se debería gestionar apropiadamente la tarificación del agua introduciendo el volumen consumido en el importe de la tarifa. Finalmente sería positivo arbitrar mecanismos para la formación y asistencia técnica para los regantes, con el fin de poner al alcance de los mismos los mecanismos de mejora de gestión en usos de agua, fertilizantes y fitosanitarios.

- En el caso de abastecimiento urbano resulta imprescindible el evitar el derroche de los distintos usos del agua. Para el empleo domiciliario (aseo personal, limpieza, colada, etc.) se debe proceder a la adecuada concienciación ciudadana en el sentido que el relativamente reducido coste del recurso no justifica su despilfarro. Además se deben equipar equipos interiores como grifos, cisternas de descarga, etc., con dispositivos de ahorro apropiados. Para ello, además de la concienciación ciudadana y, como la problemática del agua previsiblemente no se resolverá a corto ni medio plazo, esta información debería empezar en las primeras etapas de formación escolar. Respecto a los usos municipales, puede ser importante la adecuada selección de los cultivos ornamentales de las zonas verdes y vías públicas.

- Los consumos de agua en la industria son en muchos casos muy importantes. En ocasiones es posible elegir entre distintos procesos que conducen a mismo resultado (productivo o transformador). Evidentemente se deben seleccionar aquellos con mínimo consumo de agua y energía. Obviamente para industrias ya en funcionamiento, las modificaciones serán parciales y en relación con las disponibilidades económicas. Además y siempre que sea factible, se debe optar por el reciclaje del agua empleada en los procesos.

Incremento de recursos mediante trasvase desde sistemas con excedentes

Con los actuales niveles de demanda y razonables previsiones de demanda futura existen sistemas de explotación con excedentes, es decir aquellos en los que los recursos son mayores que las necesidades. Entonces es posible conducir parte de los caudales excedentes hasta sistemas deficitarios. Según el área geográfica implicada, los trasvases pueden ser en el interior de una única cuenca (por ejemplo el proyectado Júcar-Vinalopó en la cuenca del Júcar) o intercuenas (por ejemplo el Tajo-Segura). El PHN contempla la posibilidad de una serie de trasvases intercuenas, Alto Duero-Bolarque, Bajo Duero-Bolarque, Tiétar-La Roda, Bajo Ebro-Llobregat, Noguera Pallaresa-Llobregat, Ródano-Barcelona y Ebro-Júcar-Segura: en general los trasvases implican una serie de problemas importantes como son:

- Evaluación de necesidades reales (sobre todo las futuras).

- Priorización de necesidades en función de beneficio social y económico.

- Evaluación de caudales ecológicos. A modo de ejemplo, el previsible impacto que sobre el Delta del Ebro o sobre la intrusión marina puede producir el trasvase de 1.000 hm³/año que propone el proyecto de PHN.

- Impacto ambiental de las obras sobre el medio físico. A modo de ejemplo también se puede citar que el trasvase del Ebro hasta Barcelona y Almería, podría atravesar hasta 14 espacios naturales protegidos.

- Consumo energético de ejecución y operación.

- Costes de ejecución y mantenimiento. Citando nuevamente el trasvase del Ebro hasta Barcelona y Almería, su coste se estima en 700.000 M. ptas.

- Oposición de sectores sociales.

- Oposición de sectores políticos.

Incremento de recursos mediante reutilización

Las aguas se contaminan durante su uso, inhabilitándose para ser empleadas nuevamente en el mismo u otros usos. Las aguas de regadío pueden constituir una excepción por la propia dinámica de aplicación, ya que las aguas sobrantes que drenan los suelos pueden retornar a cauces a través de canales o azarbes y, diluidas con las aguas del cauce, emplearse nuevamente para regadío; también es posible que alcancen acuíferos que se empleen posteriormente incluso para abastecimiento a poblaciones. En estos casos se puede producir una progresiva contaminación donde se acumulan los contaminantes. En general, tras un tratamiento apropiado, las aguas residuales urbanas e industriales pueden aplicarse a distintos usos, tal como se indica en la Tabla 2.

El tratamiento de las aguas residuales se realiza mediante una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que reducen los contaminantes y donde se genera una corriente de lodos que contiene la mayoría de los contaminantes separados del agua, tal como se muestra en la figura 6.

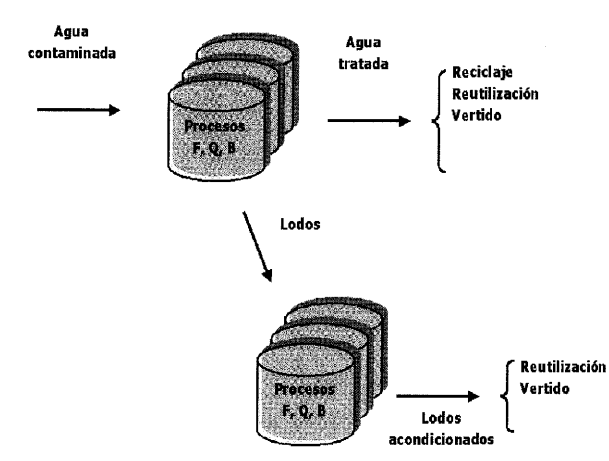


Figura 6. Representación esquemática del tratamiento de aguas

El tratamiento debe realizarse con el diseño apropiado que permita alcanzar los objetivos de calidad de agua tratada para cumplir la normativa de vertido o, en caso de reutilización, la requerida en relación con el nuevo uso.

Según el informe sobre el estado de la depuración en España (Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas) en 1994 la carga contaminante generada en España era de

Tabla 2
Posibilidades de reutilización de aguas

| Tipo de uso previo | Posibilidades de reutilización | Problemas asociados |
|-----------------------|--|---|
| Regadío | Nuevo regadío aguas abajo | Acumulación de contaminantes (sales del suelo, fertilizantes, fitosanitarios) |
| | Infiltración en acuífero | |
| Abastecimiento urbano | Regadíos | Tratamiento apropiado (contaminantes orgánicos e inorgánicos) |
| | Caudales ecológicos | Riesgo sanitario |
| | Usos municipales | Costes tratamiento |
| | Recarga acuíferos | Infraestructuras almacenamiento |
| Uso industrial | Reciclaje | Aguas muy contaminadas |
| | Reutilización en la propia instalación | Ubicación (vertido a redes municipales) |
| | | Costes tratamiento |

85 millones de habitantes equivalentes, 45% originada por la población de hecho, 14% por la población estacional y 41% por la industria y ganadería.

Las aguas residuales generadas deben tratarse de forma apropiada para proteger las zonas de vertido. El tipo de tratamiento para cada una de las zonas viene establecido en la Directiva 91/271/CEE, donde también se establecen los criterios para la calificación de las zonas y los plazos para la progresiva implantación del tratamiento en función del número de habitantes equivalentes de cada población.

En España, la distribución de carga contaminante por zonas de vertido es de 69,5% en zonas “normales”, 9,0% en zonas “sensibles” y 21,5% en zonas “menos sensibles”.

El estado de la depuración de acuerdo a la Directiva y su evolución, se muestra en la figura 7. Se puede observar que en 1997 un porcentaje muy elevado de aguas residuales no recibía tratamiento conforme a la Directiva, tanto a escala global, como en las comunidades de Valencia y Murcia.

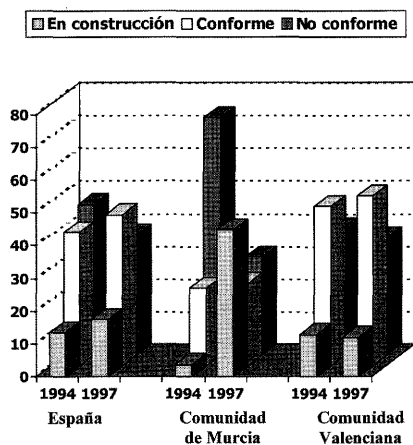


Figura 7. Evolución del tratamiento de aguas residuales en función de lo establecido en la Directiva 91/271/CEE.

Uno de los problemas más importantes es para la completa solución al tratamiento de aguas residuales son los vertidos de origen industrial. Hay más de 270.000 industrias que vierten a las distintas cuencas con necesidad de regularización, agrupadas en 11 sectores industriales, que precisan una inversión total

superior a 470.000 M. ptas (media ponderada de 12 M. ptas). Además se producen gran cantidad de vertidos al alcantarillado urbano, lo que dificulta o impide el tratamiento apropiado para obtener efluentes de calidad.

Es muy importante indicar que en absoluto todas las aguas depuradas de acuerdo a la Directiva son aptas para su reutilización. La calidad del efluente es la que determina los posibles usos posibles y esta calidad está directamente relacionada con las características del agua residual y con su tratamiento. Es muy deseable que se apruebe lo antes posible una normativa que establezca la calidad requerida de las aguas tratadas para poder ser reutilizadas en cada posible uso.

Incremento de recursos mediante desalación

El avance científico en las técnicas para la desalación y el constante incremento de instalaciones en todo el mundo, permiten que cada vez sea más fiable y económicamente atractivo la obtención de caudales de agua dulce a partir de agua salobre y agua de mar.

A escala mundial se producen actualmente unos 30 hm³/día de agua dulce (14 hm³/día desde agua salobre y 16 hm³/día desde agua de mar). Cuando la procedencia es agua de mar el uso es como abastecimiento, mientras que cuando procede de agua salobre el coste de producción es mucho menor y se emplea para abastecimiento y regadío. La evolución de la producción hasta 1996 se muestra en la figura 8 (Medina San Juan, 1999).

Los principales productores se muestran en la figura 9.

Es significativo que la mayor producción se encuentre en Arabia Saudita con un 26,8% del total, seguida de Estados Unidos con el 15,7%, Emiratos Arabes con el 11,1% y Kuwait con el 8,1%, países productores de petróleo, por tanto con unos costes energéticos muy bajos, y tres de ellos muy áridos. En los paí-

ses árabes se trata fundamentalmente de plantas de agua de mar para abastecimientos urbanos. En EE.UU., que no tiene en general tantos problemas de aridez, las instalaciones son preferentemente de agua salobre y tanto para usos urbanos como industriales. Así pues, en países con una escasez importante de agua y con importantes recursos energéticos, la desalación se ha implantado extensamente como fuente de abastecimiento de agua (por ejemplo en Bahrain, Kuwait, Qatar o Emiratos Arabes este suministro supone más de 600 L/hab. día.

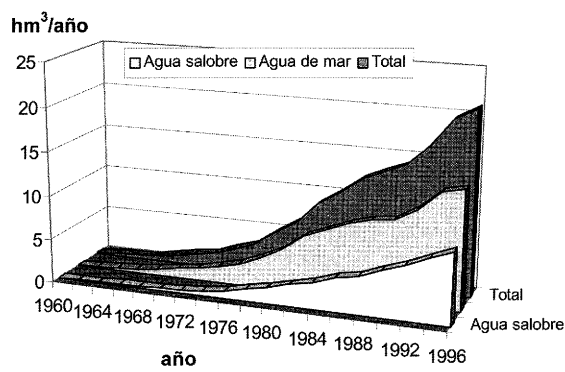


Figura 8. Producción de agua dulce a partir de agua salobre y agua de mar en el mundo.

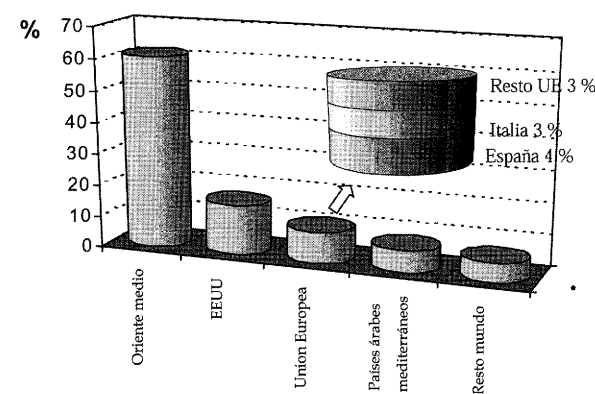


Figura 9. Principales productores.

Hasta hace pocos años la historia de la desalación en España ha estado directamente relacionada con las necesidades y desarrollo turístico de Canarias, concentrándose allí casi todas las instalaciones de agua de mar (también las primeras instalaciones de desalinización

de aguas salobres para la agricultura se montaron allí). En años recientes el crecimiento ha sido muy importante en la península, fundamentalmente en el Sureste y Baleares. En la figura 10 se muestra la evolución hasta 1997 (Medina San Juan, 1999), en la que se puede observar los elevados caudales que se destinan a la industria, así como la expansión que se viene produciendo en las aplicaciones a la agricultura.

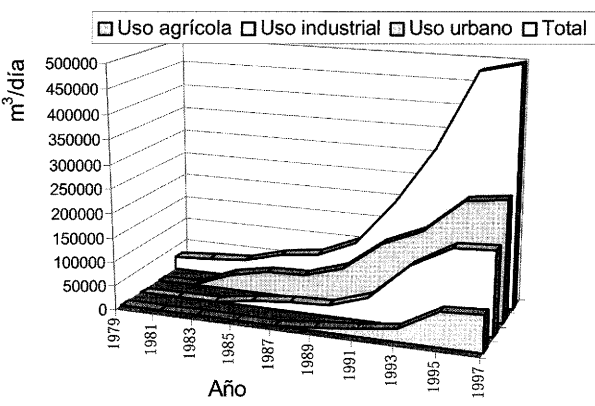


Figura 10. Evolución y usos del agua desalada en España.

En conjunto la utilización de aguas salobres y de mar supone actualmente en nuestro país una aportación al ciclo hidrológico de más de 200 hm³/año, de los que el 40% provienen de agua del mar y el resto de aguas salobres. Con las previsiones de actualmente previstas, en los próximos 2 ó 3 años se alcanzarán aproximadamente los 275 hm³/año, de los que 200 hm³ se extraerán de agua de mar.

Respecto a los trasvases para incrementar los recursos de agua, la utilización de aguas salobres o agua de mar presenta ventajas e inconvenientes. Las principales ventajas son:

- Excelente y constante calidad del agua dulce obtenida.
- Recurso ilimitado en el caso de agua de mar.
- Gestión local del recurso.

Los principales problemas son los costes, el consumo de energía y el impacto ambiental provocado por la

eliminación de la corriente de rechazo (salmuera) que se genera en el proceso de desalación:

– Respecto a los costes, éstos dependen de la calidad del agua a utilizar (salinidad y otros contaminantes como materia orgánica, microorganismos o metales), de la tecnología empleada (en las condiciones de España y para instalaciones de obtención de agua potable la tecnología más apropiada es la ósmosis inversa), de la calidad requerida para el agua dulce (potable, para regadío, etc.) y del tamaño de la instalación (las instalaciones grandes se benefician de la economía de escala). Así por ejemplo (Prats, 2000), en una instalación para la producción de unos 20.000 m³/día de agua potable a partir de agua de mar empleando la tecnología de ósmosis inversa, se obtendría el agua en planta a un coste de unas 100 a 130 ptas/m³, de las que aproximadamente el 40% corresponderían a la amortización y más de un 30% a la energía empleada. En el caso de partir de aguas salobres de unos 5 g/L de sales, los costes se reducen sustancialmente, obteniéndose el agua dulce a unas 30 a 40 ptas/m³.

– El consumo de energía varía en función de la técnica empleada y de la calidad del agua a tratar. En el caso de ósmosis inversa oscila entre unos 5 kWh/m³ para agua de mar y unos 1,5 kWh/m³ para agua salobre de unos 5 g/L de sales disueltas. La importancia relativa de estos consumos puede relacionarse con los consumos de energía que también son necesarios para la disposición de todos los otros bienes como alimentos, vestidos, vivienda, calefacción y refrigeración, educación, transporte, ocio, etc. Así, si toda el agua que se consume en una vivienda familiar de 4 personas tiene su origen en el mar, el consumo eléctrico asociado a la desalación será de unos 3 kWh/día, (5 kWh/m³) (0,15 m³/persona.día) (4 personas), lo que equivale por ejemplo a 2 horas de funcionamiento de un radiador de 1.500 w. Por otra parte hay que considerar que si la opción para incrementar los recursos de agua es un trasvase, se consume energía para realizar las elevaciones y cubrir las

pérdidas de energía en las conducciones. También en el caso de reutilización de aguas residuales, los distintos tratamientos para acondicionar el agua consumen energía.

– El rechazo o salmuera que contiene las sales que se han separado en el proceso de obtención de agua dulce debe ser convenientemente evacuado. En el caso de salmueras de agua de mar esta corriente puede contener hasta 70 g/L de sales (el agua de mar contiene 39 g/L). Hay que indicar que se trata fundamentalmente de las mismas sales que hay en el mar, no de otros agentes tóxicos o contaminantes como puede haber en efluentes de depuradoras que también deben ser evacuados al mar o en el agua de los ríos en su desembocadura. Por tanto su vertido al mar únicamente va a tener afección en la concentración de sales en las proximidades del punto de evacuación, donde habrá unas zonas, de mayor o menor extensión en función de las condiciones fluidodinámicas existentes, en las que la concentración de sales será mayor que la media del mar (un efecto contrario respecto a la salinidad se producen el vertido a través de emisarios de aguas residuales o en las desembocaduras de los ríos). Los efectos negativos son pues de afección local a la salinidad, lo que puede tener incidencias negativas sobre el bentos hasta que se produzca la dilución apropiada de los vertidos. Son necesarios estudios científicos para cuantificar dichos efectos y para decidir la mejor forma de evacuación (mezcla con agua residual, múltiples difusores, etc.). En el caso de efluentes de aguas salobres la incidencia es menor. En algunos casos es posible, disponer los vertidos en acuíferos profundos que ya están muy salinizados. Esta opción puede ser una buena alternativa para plantas situadas muy lejos de la línea de costa.

Bibliografía

Igor A. Shiklomanov “World water resources at the beginning of the 21st century”. Monografía del

Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. State Hydrological Institute, St. Petersburg, Rusia, 1999. (<http://espejo.unesco.org.uy/index.html>).

Ministerio de Medio Ambiente. Libro Blanco del Agua, 1999. (<http://www.mma.es:8088/GENERAL/seac/librob/sintesisdic4.htm>).

Medina San Juan, José Antonio. “Desalación de aguas salobres y agua del mar. Ósmosis Inversa”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 1999.

Prats, D. “Desalinización de aguas salobres y de mar como alternativa de abastecimiento”. Alquibla, 6, 59-76, 2000.

Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de Aguas. (http://www.mma.es/docs/hidra_calagua/coca/icg.ht).

Instituto Nacional de Estadística. Notas de Prensa, 1999.

Riego deficitario controlado en albaricoquero.

Relaciones hídricas y producción

▣ **Alejandro Pérez Pastor; Arturo Torrecillas Melendreras; Rafael Domingo Miguel**

Dpto. Producción Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena

▣ **M^a. Carmen Ruiz Sánchez**

Dpto. Riego y Salinidad. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura

Introducción

En el área mediterránea, la escasez e irregularidad de las precipitaciones, unido a la alta demanda evaporativa son causas de desarrollo de fuertes déficits hídricos estacionales. Bajo estas condiciones es imposible lograr cosechas de alto rendimiento y calidad comercial si falta el agua para el riego regular de los cultivos. La escasez de recursos hídricos en el área ha promovido el desarrollo de estudios centrados en la optimización y mejora de la eficiencia en el uso del agua de riego [6, 8, 10].

El riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de riego introducida exitosamente por Chalmers y colaboradores [11, 12, 13], basada en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y de cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo.

La Región de Murcia, con aproximadamente unas 12.000 Ha de cultivo de albaricoquero y 100.000 t de producción, supone el 55 y 58% de la superficie y pro-

ducción nacional, respectivamente. En ella, la práctica totalidad del cultivo se encuentra en regadío, al ser el agua el principal factor de producción.

Basándonos en los buenos resultados obtenidos con la técnica de RDC en melocotonero, peral y cítricos [6, 9, 11 y 12] iniciamos un ensayo al objeto de evaluar la idoneidad del albaricoquero para ser sometido a estrategias de RDC. Para ello, cantidades de agua inferiores a las necesarias fueron aplicadas durante los períodos de menor sensibilidad al déficit hídrico, mientras que se aplicó la totalidad de sus necesidades en los períodos críticos (segundo período de rápido crecimiento del fruto y durante los dos meses siguientes a la cosecha) [14, 16]. Los períodos de desarrollo del albaricoquero Búlida, en las condiciones de estudio, fueron previamente delimitados.

Material y métodos

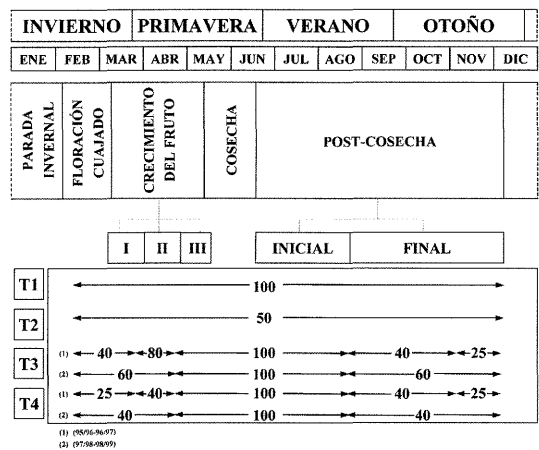
El ensayo se desarrolló durante 1996-1999, en una parcela de albaricoceros (*Prunus armeniaca* L. cv. Búlida) de 1.7 Ha, perteneciente a una finca comercial situada en el valle del Río Mula, con suelo de textura

franca y alto contenido en caliza activa, y agua de riego de baja conductividad eléctrica (CE 25 °C = 0.6 dS m⁻¹). Los albaricoqueros, injertados sobre pie franco de Real Fino, de 10 años de edad y a marco de plantación de 8 x 8, tenían una altura de 4.1 m y sombreaban el 52% del marco. El sistema de riego, por goteo, consistió en un único lateral por hilera de árboles, a razón de 7 emisores de 4 l h⁻¹ por árbol. Las unidades fertilizantes aportadas fueron de 158 kg de N, 769 kg de P₂O₅ y 110 kg de K₂O por Ha y año.

Durante el período experimental, la climatología fue típicamente mediterránea. La evaporación en cubeta clase A osciló entre 1.4 (enero) y 7.5 mm d⁻¹ (julio), siendo la media anual de 1.470 mm, y la precipitación de 320 mm.

Se aplicaron 4 tratamientos de riego, distribuidos según diseño factorial de bloques al azar: tratamiento control (T1), con riego al 100% de la ETc; tratamiento T2, al 50% del T1, y otros dos de RDC (T3 y T4), al 100% de la ETc durante los períodos críticos (segunda fase de crecimiento rápido del fruto y durante los dos meses siguientes a la recolección) y reducciones del 60 y 40% de la ETc para T3 y T4 respectivamente, en los restantes períodos (figura 1). El volumen medio de agua de riego en el tratamiento control fue de 7.254 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

Figura 1. Porcentajes de la ETc aplicados en cada periodo fenológico del cultivo en los distintos tratamientos de riego durante el periodo experimental.



Los parámetros evaluados en suelo incluyeron: potencial matricial (Ψ_m), con tensiómetros a 30, 60 y 90 cm de profundidad y a 30 cm del emisor, contenido volumétrico (qv), con sonda de neutrones (4 tubos situados perpendicularmente al lateral de riego: dos en la zona húmeda y dos a 2.5 y 4 m del lateral). En planta: potencial hídrico foliar antes del alba (Ψ_a) y a mediodía (Ψ_{md}), con cámara de presión [17], conductancia foliar (gl) y fotosíntesis neta (Fn), con aparato portátil de intercambio gaseoso.

El diámetro del fruto fue medido semanalmente, en frutos marcados en árbol, con calibre digital. Paralelamente, en muestreo semanal, se evaluaron las características físicas y químicas más relevantes. El crecimiento vegetativo se evaluó en base a medidas de longitud de brotes, diámetro de tronco, altura y anchura de copa, peso de poda y dinámica de crecimiento radical (minirrizotrones) [1, 18]. La recolección se realizó de forma escalonada, en diferentes fechas, pesando el total de los frutos recolectados. Además se determinaron las características físico-químicas de la cosecha.

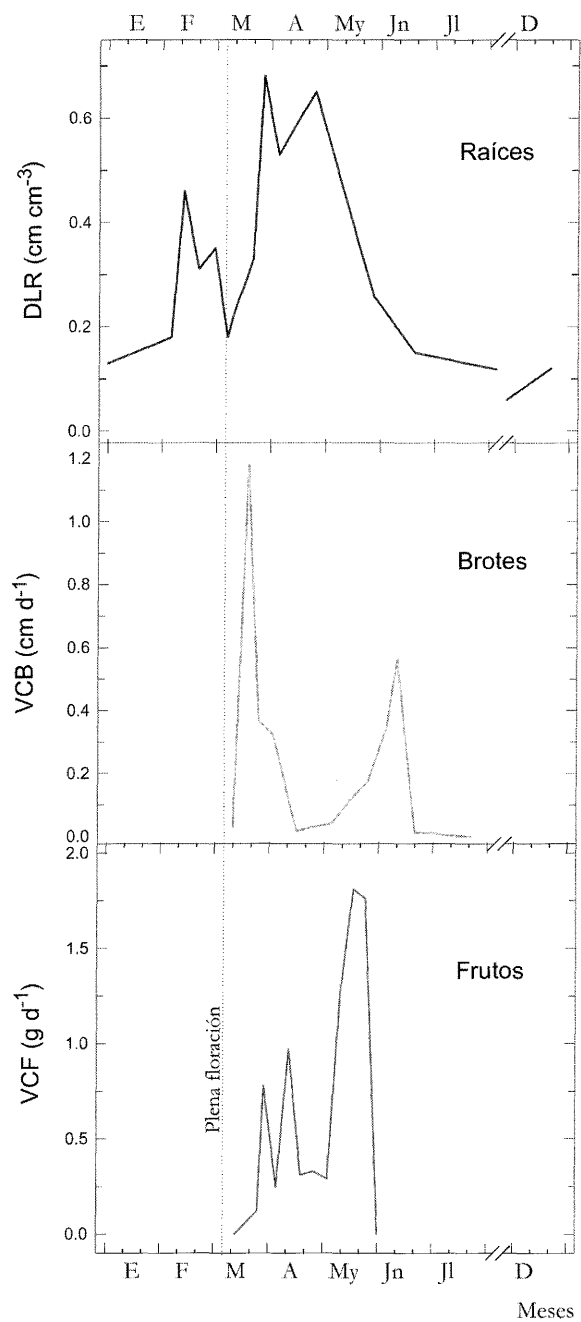
Resultados y discusión

La figura 2 muestra la existencia de una clara competencia entre el crecimiento de la parte aérea y las raíces, coincidiendo el final de los períodos de crecimiento radical con el comienzo del desarrollo de brotes y frutos. En este mismo sentido, Bevington y Castle [3] indican que en naranjos jóvenes las máximas intensidades de crecimiento de ramos coincidían con los mínimos de crecimiento de las raíces, estando inhibido éste último por las auxinas producidas durante el período de crecimiento de los ramos [2].

Así mismo, el crecimiento de los frutos se inicia cuando se ha completado la mitad del crecimiento de los brotes, existiendo sólo un 36% de solape entre ambos crecimientos. Esta separación de ambos procesos es una característica ventajosa para la aplicación del riego deficitario controlado [9, 15].

Los valores de potencial matricial del agua en el

Figura 2. Velocidad de crecimiento de raíces, brotes y frutos de albari-coquero Búlida durante un ciclo de cultivo en condiciones de adecuado suministro hídrico.



suelo (Ψ_m) se vieron influenciados por los tratamien-tos de riego aplicados, con medias de -23 kPa en la zona radical (30 cm), y -38 y -46 kPa, a 60 y 90 cm res-pectivamente, para el tratamiento control. Para el T2, el Ψ_m se mantuvo por debajo de -80 kPa gran parte del año. Durante los períodos de déficit hídrico, Ψ_m en los tratamientos de RDC mostraron valores similares a los del T2.

Teniendo en cuenta el sistema de riego usado y la

pequeña porción de suelo humectado por los goteros (< 30%), los valores de obtenidos de Ψ_m durante los períodos de déficit pueden ser considerados bajos y capaces de inducir un déficit hídrico significativo a la planta [7]. La recuperación del perfil hídrico de los tra-tamientos deficitarios, con respecto a los niveles del tratamiento control, tuvo lugar en 8 días, pasando T3 y T4 de -90 a -9 y -10 kPa, respectivamente.

La humedad del suelo (medida de 0 a 140 cm de profundidad) en el tratamiento T2 permaneció prácti-camente constante todo el año, con valores de stock hídrico cercanos a 200 mm (q_v^a 14%), reflejándose una situación de severo estrés hídrico, excepto durante el período de baja demanda evaporativa (noviembre-marzo) cuando los valores de humedad volumétrica fueron superiores. En el tratamiento control, el stock hídrico medio fue de 290 mm (q_v^a 21%), alcanzán-do-se valores similares en los tratamientos de RDC cuan-do fueron regados al 100% de la ETc.

Los árboles regados al 100% de la ETc todo el año mantuvieron los valores de humedad del suelo en torno a capacidad de campo en la zona de máxima densidad radical, lo que se tradujo en valores de potencial hídri-co foliar al alba (Ψ_a) en torno a -0.45 MPa (figura 3). Ψ_a y vmd descendieron en los tratamientos de RDC durante los períodos de déficit hídrico, alcanzándose valores mínimos de va de -1.0 MPa en el T3 y T4, antes de la segunda fase de crecimiento del fruto. Una similar reducción en Ψ_a fue detectada en el T2. Cuan-do el riego fue restituído al 100% de la ETc, ambos parámetros recuperaron los valores del tratamiento control en una semana. La reducción relativa en los valores de Ψ fue mayor al alba que a mediodía (figura 3). Los niveles de conductancia foliar y fotosíntesis fueron considerablemente reducidos en los tratamien-tos deficitarios (datos no mostrados).

El crecimiento del fruto mostró la típica doble sig-moide, dividida en 3 fases. Los frutos procedentes de árboles de los tratamientos de RDC soportaron déficit hídrico durante las dos primeras fases (la primera de rápido crecimiento y la segunda de ralentización del

Figura 3. Evolución estacional del potencial hídrico al alba (Ψ_a) y a mediodía (Ψ_{md}) para los 4 tratamientos de riego ensayados T1 (—●—), T2 (—○—), T3 (—▲—) y T4 (—▼—), durante 1997 y 1998.

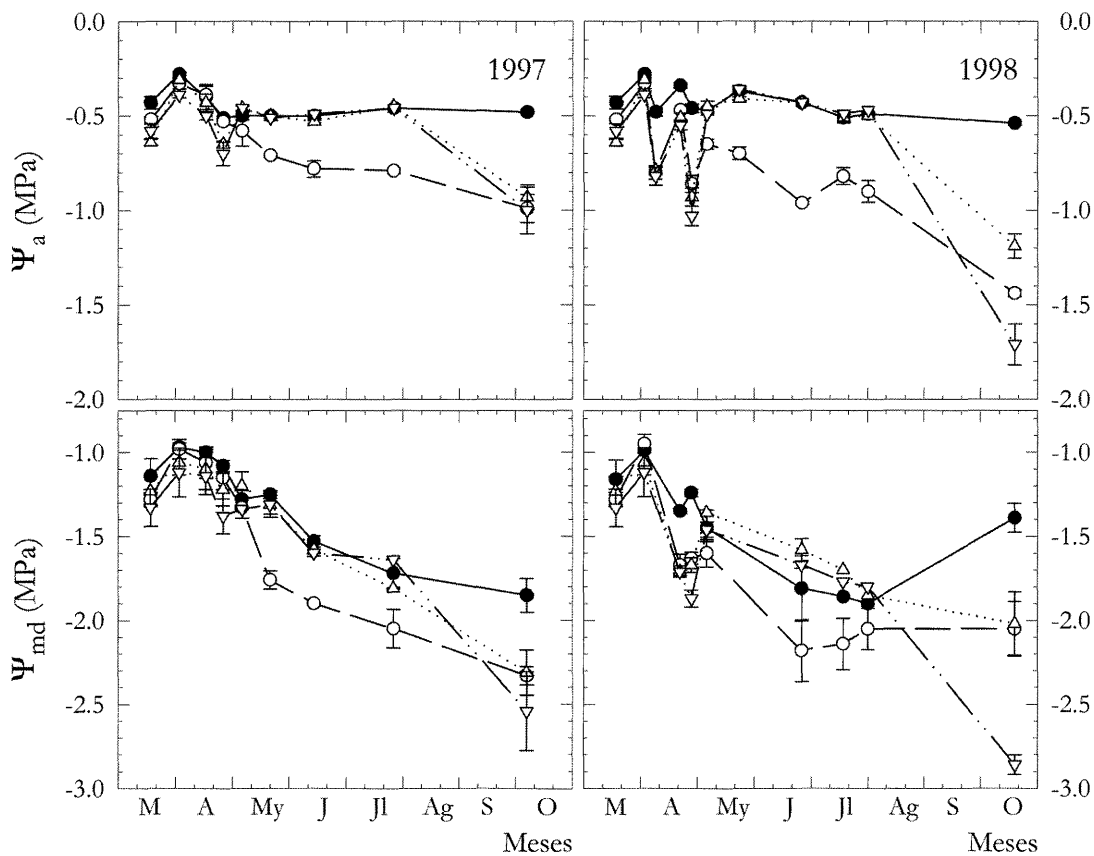
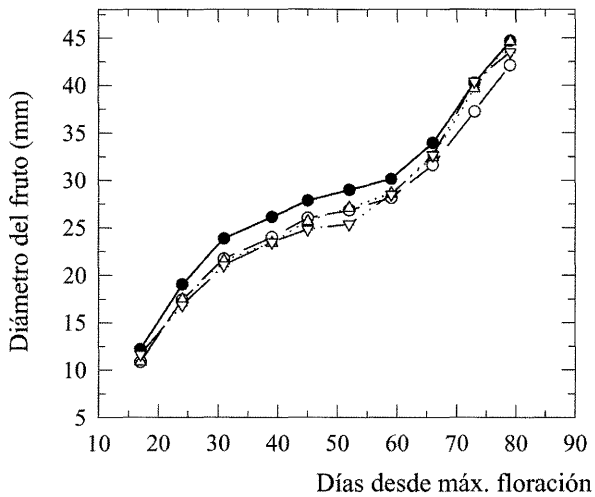
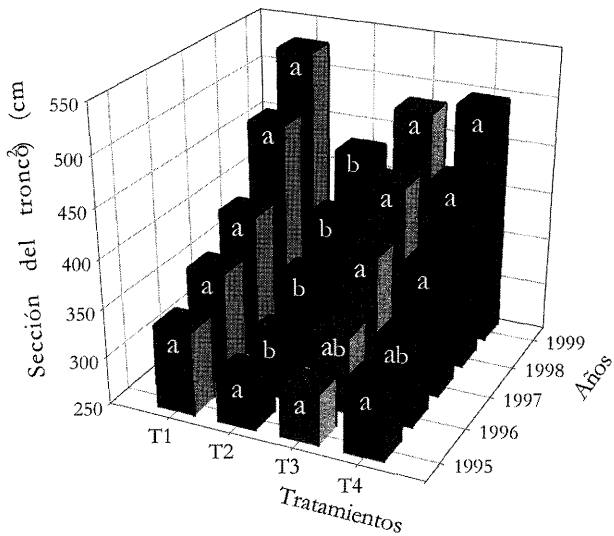


Figura 4. Crecimientos del diámetro del fruto (mm) en los tratamientos de riego: T1 (—●—), T2 (—○—), T3 (—▲—) y T4 (—▼—).



mismo, dominado por el endurecimiento del hueso), reflejándose en unos menores diámetros con respecto a los del tratamiento control (figura 4). En la tercera

Figura 5. Crecimiento de la sección del tronco (cm²) en los 4 tratamientos de riego. Las letras distintas, dentro de cada año, indican diferencias estadísticamente significativas según el test de la MDS_{0.05}.



CUADRO I

Producción total de albaricoque (kg árbol⁻¹) y número de frutos por árbol para los diferentes tratamientos de riego durante el periodo experimental

| rat. | 1996 | | 1997 | | 1998 | | 1999 | |
|------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| | g árbol ⁻¹ ^k | ° f. árbol ⁻¹ ⁿ | kg árbol ⁻¹ | ° f. árbol ⁻¹ ⁿ | g árbol ⁻¹ ^k | ° f. árbol ⁻¹ ⁿ | g árbol ⁻¹ ^k | ° f. árbol ⁻¹ ⁿ |
| | 2 | 3 | 14 | 2 | 3 | 8 | 1 | 4 |
| 1 | 08.7 a | 832 a | 5.4 a | 332 a | 67.8 a | 271 a | 78.9 a | 614 a |
| | 1 | 2 | 95 | 1 | 2 | 6 | 9 | 2 |
| 2 | 17.1 b | 158 c | .1 b | 599 b | 55.5 b | 172 b | 3.5 b | 281 b |
| | 1 | 2 | 97 | 1 | 3 | 9 | 1 | 4 |
| 3 | 43.3 b | 581 bc | .1 b | 485 b | 53.7 a | 068 a | 87.9 a | 661 a |
| | 1 | 3 | 88 | 1 | 3 | 8 | 1 | 4 |
| 4 | 52.5 b | 367 ab | .2 b | 445 b | 24.2 a | 068 a | 86.1 a | 823 a |

Los valores seguidos de diferentes letras indican diferencias estadísticamente significativas según el test de la MDS_{0.05}.

fase (segundo crecimiento rápido del fruto), al aplicar el riego al 100% de la ETc, los frutos de los tratamientos deficitarios mostraron una mayor velocidad de crecimiento que los del tratamiento control, igualando finalmente el tamaño de éstos. Este tipo de crecimiento compensatorio, tras un período de déficit hídrico, ha sido citado en otros frutales [4, 5, 12]. En cambio los frutos del T2 mantuvieron un tamaño menor que el resto de los tratamientos.

El riego deficitario controlado no afectó sensiblemente al crecimiento del tronco; en cambio el T2 mostró una reducción significativa debido al continuo déficit hídrico aplicado (figura 5). Sin embargo, los pesos de la poda de otoño fueron menores en los tratamientos deficitarios que en el control (datos no mostrados) [13].

Durante los dos primeros años de estudio, con ahorros de agua superiores al 40%, la producción total obtenida en los tratamientos de RDC fue menor que la del tratamiento control (tabla 1), sin embargo, con ahorros en torno al 25% (en las dos últimas campañas), la producción en el T3 y T4 fue similar a la del tratamiento control. La producción del tratamiento T2 fue significativamente inferior en todos los años estudiados.

Las características físicas de los frutos cosechados no se vieron modificadas considerablemente por la

aplicación del RDC. En cambio, se encontraron mayores índices de sólidos solubles y acidez en frutos en los tratamientos deficitarios.

En consecuencia cabe pensar que las estrategias de riego deficitario controlado ensayadas pueden ser consideradas útiles en áreas con limitados recursos hídricos.

Bibliografía

- [1] Abrisqueta, J.M., Hernansáez, A. y Franco, J.A. 1994. Root dynamics of young almond trees under different drip-irrigation rates. J. Hort. Sci. 69: 237-242.
- [2] Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. Hort. Rev. 2: 424-490.
- [3] Bevington, K.B. and Castle, W.S. 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 840-845.
- [4] Caspari, H.W., Behboudian, M.H. and Chalmers, D.J. 1994. Water use, growth and fruit yield of 'Hosui' Asian pears under deficit irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119: 383-388.
- [5] Cohen, A. and Goell, A., 1989. Fruit growth and dry matter accumulation in grapefruit during

- periods of water withholding and after reirrigation. *Austral. J. Plant Physiol.* 15: 633-639.
- [6] Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Sánchez-Blanco, M.J. and Torrecillas, A. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 16: 115-123.
- [7] Fereres, E., Pruitt, W.O., Beutel, J.A., Henderson, D.W., Holzapfel, E., Schulbach, H., Uriu, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. In: *Drip Irrigation Management*. (Fereres, E., ed.) Univ. California, Davis, Ca, USA, pp. 8.
- [8] Girona, J., Mata, M., Goldhamer, D.A. Johnson, R.S. y DeJong, T.M. 1993. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 580-586.
- [9] Goldhamer, D.A. 1989. Drought irrigation strategies for deciduous orchards. Univ. of California, Div. Agric. and Natural Resources. Publication n° 21453, pp 15.
- [10] González-Altozano, P. y Castel, J.R. 2000. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *J. Hort. Sci. Biotech.* 75: 388-392.
- [11] Mitchell, P. D. y Chalmers, D. J. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 853-856.
- [12] Mitchell, P.D., Chalmers, D.J., Jerie, P.H. y Burge, G. 1986. The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111: 858-861.
- [13] Mitchell, P.D., van den Ende, B., Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1989. Responses of 'Barlett' pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 15-19.
- [14] Ruiz-Sánchez, M.C., Sánchez-Blanco, M.J., Galego, R., Alarcón, J.J., Abrisqueta, J.M., Torrecillas, A. 1996. Determinación de la sensibilidad de distintos períodos fenológicos a la supresión del riego en albaricoquero. XIV Congreso Nacional de Riegos (Aguadulce, Almería), p. 8-15.
- [15] Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de RDC en cultivos leñosos. En: *Riego Deficitario Controlado Fundamentos y Aplicaciones*. Colección Cuadernos VALUE I. UE-Mundi Prensa, Madrid. ISBN 84-7114-590-1, p. 43-63.
- [16] Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R., Ruiz-Sánchez, M.C. 2000. Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Sci. Hortic.* 85: 201-215.
- [17] Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9: 289-308.
- [18] Upchurch, D.R. y Ritchie, J.T. 1983. Root observations using video recording system in mini-rhizotrons. *Agron. J.* 73: 1009-1015.

Estudio de la inoculación selectiva en los biofiltros para eliminación de nitrato de aguas subterráneas

■ M.A. Gómez; B. Moreno; M. Zamorano; A. Ramos,
J.I. Pérez; F. Osorio y J. González-López

Grupo Microbiología y Técnicas Ambientales de la Universidad de Granada

Resumen

Los sistemas de biodesnitrificación son una alternativa de bajo costo, aplicables a la eliminación de nitrato de aguas subterráneas contaminadas. La aplicación de este proceso, mediante la tecnología de filtros sumergidos, garantiza el disponer de agua potable a núcleos de población cuyos recursos hídricos son acuíferos contaminados por nitrato. Este proceso precisa de la dosificación de una fuente de carbono adecuada, así como de un control del oxígeno disuelto en el agua a tratar; sin embargo, el elemento fundamental a considerar es la biopelícula formada, pues se precisa de una inoculación previa al tratamiento.

Con el objeto de optimizar este paso crucial, se estudió la fase de inoculación del sistema, empleando como inoculantes tres cultivos puros de bacterias desnitrificantes aisladas previamente de biopelículas formadas para este fin (*Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas mendocina* y *Pseudomonas pickettii*). El funcionamiento del sistema así inoculado se comparó con otro puesto en marcha con Licor Mezcla de un reactor de fangos activos. El sistema se estudió en cuanto a las

necesidades de recirculación para su inoculación, su capacidad de eliminar nitrógeno (presencia de NO_3^- y NO_2^- en el agua tratada) y estabilidad de la biopelícula. Igualmente se estudiaron las características finales del agua tratada con el objeto de establecer la necesidad de posteriores tratamientos.

Para los diferentes ensayos realizados las necesidades de recirculación se redujeron a 24 horas, dando lugar en el caso de la inoculación selectiva a biopelículas más homogéneas y más efectivas que dan lugar a un efluente tratado de mejores características. Así pues, este proceso ofrece ventajas considerables al realizado de forma tradicional empleando licor mezcla de estación depuradora, siendo el inoculante obtenido con *Agrobacterium radiobacter* el que presentó mejor capacidad en eliminación de nitrógeno y mayor estabilidad de la biopelícula.

Introducción

La solución al problema de la contaminación de acuíferos por nitrato pasa por un control en los aportes de compuestos de nitrógeno al medio, tanto a nivel

agrícola como de vertidos (D. 91/676, D. 91/271) o bien por un tratamiento del agua contaminada antes de ser empleada. Esta segunda opción permite disponer de inmediato de agua en condiciones adecuadas para su uso, siendo el medio más efectivo a corto plazo que nos permite solucionar los graves problemas sociales y económicos causados por carencia de agua potable.

Los más afectados por el problema de contaminación por nitratos de las aguas subterráneas son pequeñas poblaciones que no disponen de otros recursos hídricos. Es por lo tanto necesario disponer de tecnologías viables tanto técnica como económicamente que se adecuen a las necesidades de estos pequeños núcleos de población.

De entre las diferentes tecnologías aplicables para la solución de este problema, pocas pueden adaptarse a los recursos económicos de la población que las demanda, destacando en este sentido los procesos biológicos de desnitrificación aplicados mediante sistemas de filtros sumergidos [1]. Esta tecnología permite la transformación del nitrato o nitrito contaminantes en N_2 , un gas inerte muy abundante en la atmósfera [9]. El proceso es llevado a cabo mediante biopelículas, estructuras biológicas desarrolladas sobre un soporte que se aplican hoy día de forma adecuada en numerosos tratamientos del agua [6]. Las biopelículas empleadas en estos sistemas están formadas principalmente por bacterias desnitrificantes, las cuales en ausencia de oxígeno emplearán el nitrato del agua contaminada como aceptor de electrones, reduciéndolo desasimilatoriamente hasta N_2 .

Debido a que la mayoría de los desnitrificantes son bacterias heterótrofas, se precisa de una adición de fuente de carbono, la cual influirá en el proceso en función tanto del tipo de sustancia empleada como de su concentración [5]. Este factor junto con la concentración de oxígeno en el agua a tratar [10] son dos de los principales parámetros a controlar en el sistema, al cual debemos de unirle la composición de la biopelícula.

El empleo de sistemas de biopelícula para el trata-

miento de aguas subterráneas implica la necesidad de formar una biopelícula activa previo al funcionamiento del sistema. Esta fase de puesta en marcha o inoculación, a diferencia de los tratamientos de aguas residuales, es imprescindible, debido a la baja concentración bacteriana presente en el efluente a tratar [4].

La composición de la biopelícula se puede ver afectada por diferentes factores como son la fuente de carbono dosificada [5] la presencia de oxígeno en el medio o la fase inicial de inoculación [6]. Todo esto afecta al desarrollo de las diferentes comunidades bacterianas presentes en la biopelícula, influyendo de este modo en el rendimiento del proceso, y en la calidad final del agua tratada [8].

Son varios los estudios realizados sobre la aplicación de las tecnologías de biopelículas al tratamiento de aguas subterráneas contaminadas con nitrato, en los cuales se emplean biopelículas heterogéneas, formadas a partir de inoculantes con alta carga bacteriana (licor mezcla procedente de estaciones depuradoras), sin prestar máxima atención a la fase de inoculación del biofiltro. Teniendo en cuenta la importancia de esta fase en el proceso, pretendemos optimizarla empleando cultivos puros de bacterias con alta actividad desnitrificante. Se pretende con ello formar biopelículas más homogéneas activas y estables que garanticen la eficacia del proceso a la vez que permiten reducir sus costos.

Materiales y métodos

Los ensayos realizados en la investigación se realizaron sobre un sistema de filtros sumergidos a escala de laboratorio, el cual consistía en un cilindro de vidrio de 6 cm de diámetro interno, relleno hasta una altura de 14 cm con esquistos arcillosos de una granulometría de 2-4 mm y una densidad de 1.78 g/cm³, el cual actuaría de soporte de la biopelícula. El flujo del agua en el sistema fue descendente manteniéndose el sistema sumergido por un sistema de sifón en la salida (Figura 1).

Para la inoculación se emplearon tres microorganismos con alta actividad desnitrificante (*Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas mendocina* y *Pseudomonas pickettii*) procedentes todos ellos de biopelículas desnitrificantes heterogéneas aplicadas al tratamiento de agua subterránea contaminada con nitrato. Los microorganismos fueron aislados, obteniendo un cultivo puro de cada uno de ellos. Previo a la inoculación se obtuvo un cultivo con alta densidad bacteriana haciendo crecer a cada uno de los microorganismos en caldo NS, medio descrito anteriormente por Gómez [3] para el crecimiento de desnitrificantes. Los ensayos de inoculación selectiva se compararon con otro inoculado con Licor Mezcla procedente del reactor biológico de fangos activos de la E.D. Puente de los Vados (Granada).

Una vez preparado cada uno de los inoculantes (1.8 l) este se hizo recircular a través del filtro sumergido con un flujo de 0.25 l/h, durante diferentes tiempos de recirculación (1, 3, 5 y 9 días). Tras la inoculación se comenzó a pasar agua contaminada a través del filtro biológico para su tratamiento.

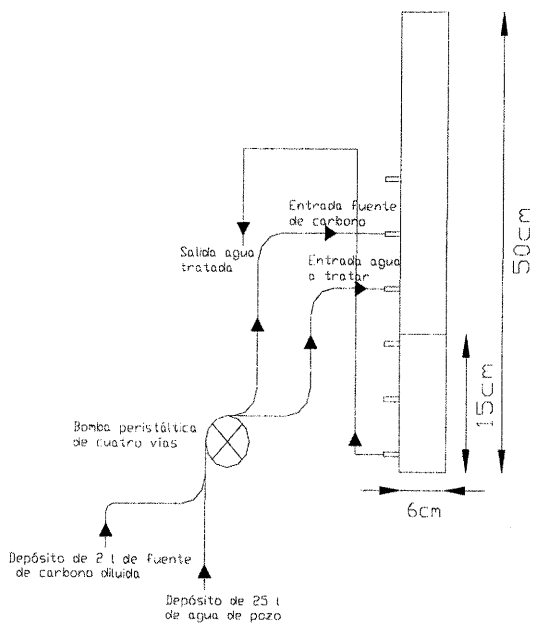


Figura 1. Esquema de la planta a escala de laboratorio empleada en la investigación.

El agua empleada en la investigación fue agua de

pozo con una concentración de NO_3^- de 100 mg/l y sin oxígeno disuelto (eliminado mediante SO_3Na_2). El agua así preparada se bombeó al filtro biológico con un caudal de 1 l/hora, dosificando en la entrada etanol como fuente de carbono (0.5 mg etanol/mg nitrato a eliminar) en cantidad suficiente como para eliminar todo el nitrato presente en el agua contaminada empleando biopelículas no selectivas [5].

Todas las muestras de agua se filtraron antes de su análisis a través de filtros de 0.45 μm de tamaño de poro (Millipore HAWP). Para la determinación de NO_3^- y NO_2^- se empleó la cromatografía iónica utilizando un cromatógrafo iónico Dionex DX-300. Igualmente se determinó la presencia de microorganismos totales y de indicadores de contaminación fecal (coliformes totales) según los métodos descritos por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992).

Para cada uno de los ensayos realizados se estudió la composición de la biopelícula en cuanto a número de microorganismos, realizando una extracción de esta mediante sonicación y realizando recuentos a partir de la suspensión obtenida en el medio NSA según método descrito por [4].

Todos los Datos obtenidos se analizaron estadísticamente empleando el programa Statgraphics Plus versión 3.0 para Windows (Statistical Graphics Corp, 1997).

Resultados y discusión

Tras la inoculación del sistema de forma selectiva, empleando diferentes tiempos de recirculación, se trató de comprobar la estabilidad de cada una de las biopelículas formadas. Para ello tras la inoculación se comenzó a circular agua subterránea contaminada durante 24 horas comprobando posteriormente la presencia de biopelícula en el medio. La Figura 2 muestra las diferencias entre los microorganismos presentes tras la inoculación y tras la fase de funcionamiento (log. ufc/g. relleno), observándose como tan solo la

biopelícula formada por *Ag. radiobacter* permanecía estable, llegando a incrementar su densidad bacteriana. Todo lo contrario le sucedía a la biopelícula formada por *Ps. pickettii* que en todos los casos reducía su densidad.

Para los ensayos con *Ps. mendocina* se puede apreciar como la estabilidad de la biopelícula crecía con el tiempo de recirculación, a diferencia de lo sucedido para *Ag. radiobacter*. La inoculación del biofiltro con estos dos microorganismos garantizaba un rendimiento adecuado del sistema al presentar biopelículas más estables. Esto no fue posible conseguirlo en las condiciones del ensayo para *Ps. pickettii*, lo que afirma que no cualquier inoculante que presente alta actividad desnitrificante es válido para el proceso, precisándose igualmente que este sea capaz de adherirse al material de relleno. Estas propiedades adherentes se manifiestan por la capacidad de producir Exopolisacárido (EPS), así como por las características de este [2], fenómeno que no parece ser adecuado para los cultivos utilizados de *Ps. pickettii* y si para los otros dos, destacando *Ag. Radiobacter*, un microorganismo productor de EPS con buenas propiedades adherentes [7].

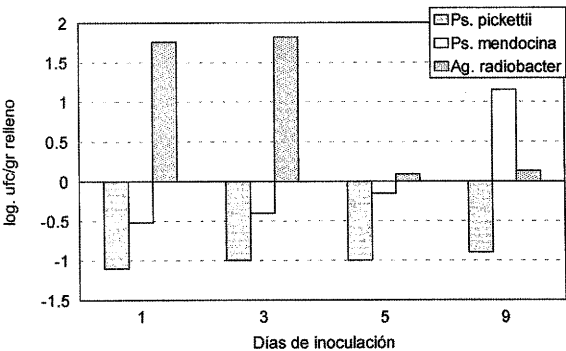


Figura 2. Diferencias en la densidad bacteriana entre la fase de inoculación y tras aplicar flujo de agua a tratar.

Las Figuras 3 y 4 muestran los valores de nitrógeno total en el agua tratada para las inoculaciones de *Ps. mendocina* y *Ag. radiobacter* respectivamente. En el primer caso se apreciaron diferencias estadísticamente

significativas entre cada una de las inoculaciones realizadas ($P < 0.01$) siendo el proceso tras 9 días de recirculación el que mejores rendimientos ofreció. El resto de ensayos a excepción de 1 día en recirculación mostraron rendimientos adecuados, apreciándose valores de nitrógeno total en la salida bajo los límites establecidos por la legislación (11.3 mg N/l según U.E. 1998). Estos rendimientos obedecen a la estabilidad de la biopelícula, la cual no mostraba pérdidas de densidad tras 9 días en recirculación.

Los rendimientos ofrecidos por *Ag. radiobacter* fueron significativamente mejores, no apreciándose diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los días de recirculación empleados. Esto muestra la capacidad de este microorganismo a formar de modo rápido biopelículas estables y con alta capacidad desnitrificante. Este microorganismo a parte de su alta actividad desnitrificante [3] presenta una formación óptima de EPS necesario para adherirse al soporte, precisando sólo pocas horas en las condiciones de trabajo ensayadas. En el caso de *Ps. mendocina* la formación de este elemento adherente parece precisar de mayor tiempo, pudiendo influir en ello otros factores como la falta de nutrientes de fácil asimilación [2] posiblemente manifestada tras un largo periodo en recirculación.

Los resultados obtenidos para la inoculación selectiva se compararon con inoculaciones empleando licor mezcla (Figura 5). En este caso también se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los tiempos de inoculación ($P < 0.01$), siendo necesarios entre 3 y 5 días de recirculación para obtener una biopelícula estable y efectiva.

Entre cada uno de los ensayos realizados con diferente inoculante, se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$) en función de los rendimientos obtenidos y del tiempo necesario para su adecuada inoculación. El proceso donde se empleó un cultivo de *Ag. radiobacter* destacó por encima de los ensayos realizados con licor mezcla e incluso de la otra inoculación selectiva.

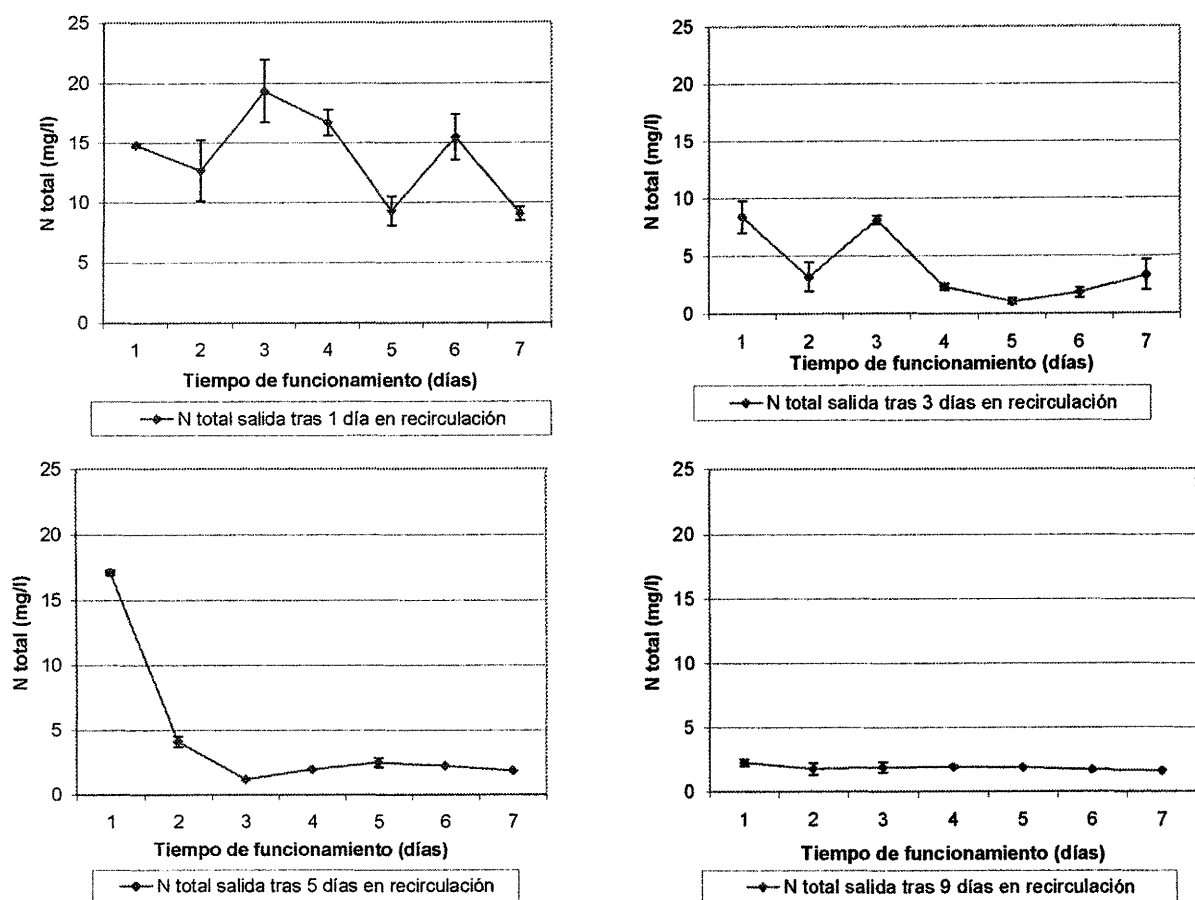


Figura 3. Concentración de Nitrógeno total en el agua tratada para diferentes tiempos de recirculación empleando *Ps. mendocina* como inoculante.

Tabla 1
Calidad sanitaria del efluente tratado y concentración de nitrato para cada una de las inoculaciones realizadas

| Recirculaciones | | NO ₂ ⁻ (mg/l) | Bacterias totales ufc/ml x 10 ⁶ | Coliformes totales ufc/ml x 10 ³ |
|------------------------|--------|-------------------------------------|---|--|
| Licor mezcla | 1 día | 0.76 ± 1.03 | 1.19 ± 1.6 | 19 ± 16 |
| | 3 días | 0.056 ± 0.014 | 1.67 ± 1.57 | 0.21 ± 1.1 |
| | 5 días | 1.38 ± 1.33 | 0.89 ± 1.5 | 0.33 ± 0.9 |
| | 9 días | 2.33 ± 0.2 | 0.88 ± 1.9 | 27.6 ± 10 |
| <i>Ps. mendocina</i> | 1 día | 1.25 ± 0.05 | 4.12 ± 4.2 | N.D. |
| | 3 días | 0.57 ± 0.92 | 7.19 ± 13.7 | N.D. |
| | 5 días | 0.13 ± 0.27 | 5.39 ± 11.8 | N.D. |
| | 9 días | 0.03 ± 0.06 | 1.9 ± 4.5 | N.D. |
| <i>Ag. radiobacter</i> | 1 día | 0.88 ± 0.01 | 2.8 ± 3.8 | N.D. |
| | 3 días | 0.23 ± 0.04 | 5.6 ± 7.06 | N.D. |
| | 5 días | 0.08 ± 0.01 | 2.13 ± 4.09 | N.D. |
| | 9 días | 0.08 ± 0.02 | 7.6 ± 4.7 | N.D. |

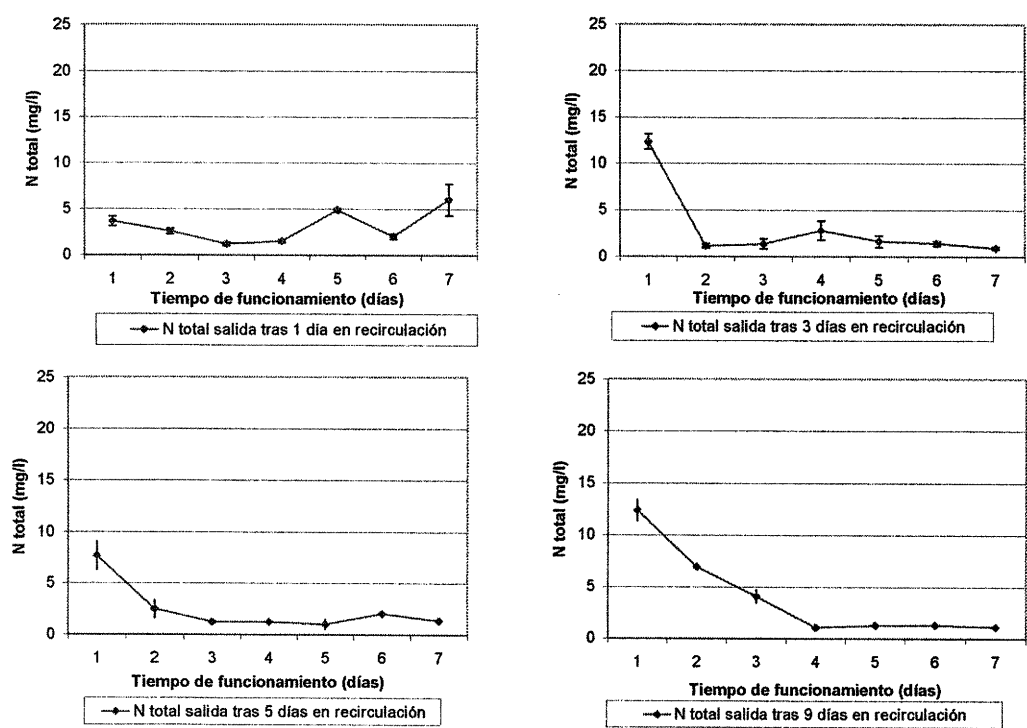


Figura 4. Concentración de Nitrógeno total en el agua tratada para diferentes tiempos de recirculación empleando *Ag. radiobacter* como inoculante.

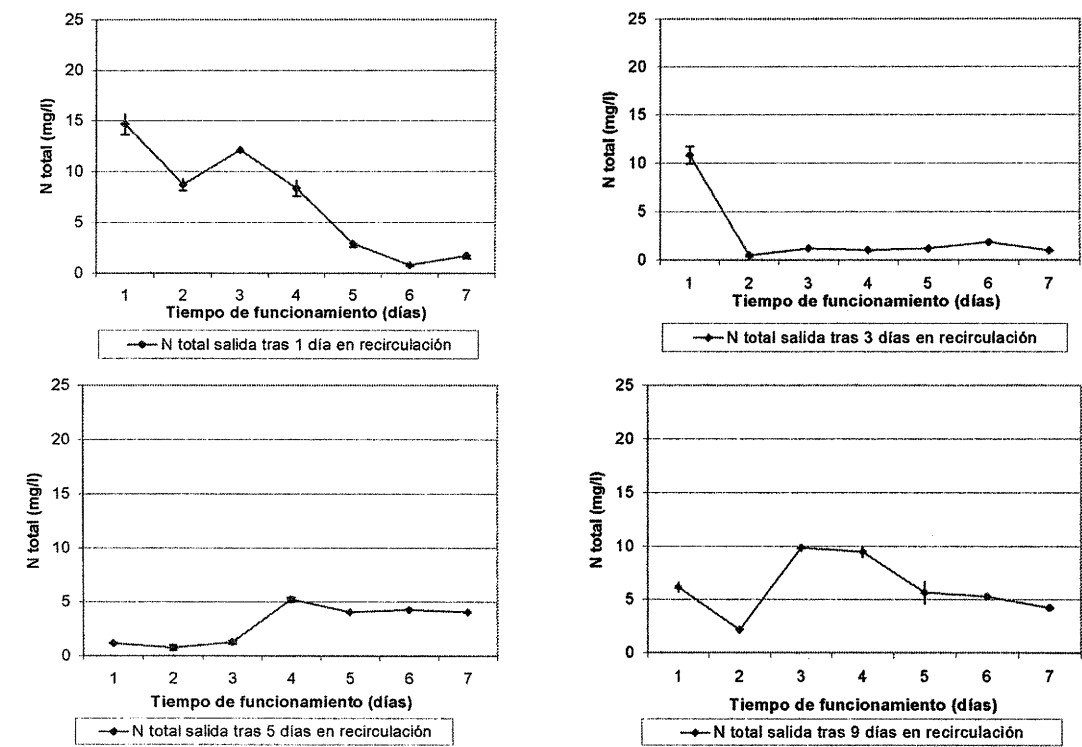


Figura 5. Concentración de Nitrógeno total en el agua tratada para diferentes tiempos de recirculación empleando *Licor mezcla* como inoculante.

Para todos los ensayos realizados se observaron concentraciones de nitrito en el agua tratada que superaban el límite establecido (0.1 mg/l) sin embargo, son cantidades poco significativas, fácilmente eliminables por los procesos de desinfección empleados habitualmente en la potabilización de aguas. Tan solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los ensayos donde la inoculación se realizó con licor mezcla para recirculaciones superiores a cinco días y el resto de ensayos. Esta mayor concentración de nitrito puede tener su origen en la presencia de poblaciones reductoras de nitrato [8], las cuales están presentes en biopelículas formadas a partir de Licor Mezcla [4].

La calidad microbiológica del efluente tratado se muestra para los diferentes casos estudiados en la Tabla 1. El recuento de bacterias totales fue inferior en el caso de emplear biopelículas formadas a partir de licor mezcla, lo cual muestra una mayor estabilidad que en los dos casos de la inoculación selectiva, destacando por su peor calidad el efluente obtenido tras la inoculación selectiva con *Ps. mendocina*. Sin embargo, hay que destacar que en ningún caso se apreciaron indicadores de contaminación fecal en el agua tratada con el sistema inoculado selectivamente y sí en los ensayos con licor mezcla. Esto pone de manifiesto una peor calidad bacteriana del agua motivado por la posible presencia de agentes patógenos en la biopelícula, al estar estos contenidos en el inoculante.

La inoculación selectiva mejora el proceso de desnitrificación biológica, permitiendo obtener rendimientos más adecuados y una mejor calidad final del efluente tratado, el cual precisará de menores tratamientos posteriores. Sin embargo este proceso de inoculación, cuyo tiempo de proceso dependerá de la cepa bacteriana empleada, necesita mayores estudios con la idea de lograr biopelículas más estables.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado con fondos de la

Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (AMB95-0621) así como de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (Ministerio de Medio Ambiente).

Bibliografía

- [1] Dahab, M.F.; Guter, G.A. and Rogalla, F. 1991 Experience with nitrate treatment in the United States and Europe. Proceedings, Annual Conference, American Water Works Association, Philadelphia, PA. June 23-27.
- [2] Costerton, J.W.; Chentg, K.J.; Geesey, G.G.; Lodd, T.I.; Nickel, J.C.; Dasgupta, M. and Marrie, T.J. 1987. Bacterial biofilm in nature and disease. *Annual Review Microbiology*. 41: 435-464.
- [3] Gómez, M.A. 1998 Eliminación biológica de nitrato de aguas subterráneas mediante filtros sumergidos: optimización del sistema. Tesis, Universidad de Granada.
- [4] Gómez, M.A.; Zamorano, M.; Moreno, B. Osorio, F.; Pérez, J.I.; González-López, J. y Hontoria, E. 1999 Desnitrificación Biológica de Aguas Subterráneas. *International Conference on Environmental Engineering*. Cartagena (Murcia).
- [5] Gómez, M.A.; González-López, J. y Hontoria, E. 2000 Influence of carbon source on nitrate remove of contaminated groundwater in denitrifying submerged filter. *Journal of Hazardous Materials*. En prensa.
- [6] Lazarova, V. and Manem, J. 1995 Biofilm Characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. *Water Research* 29(10): 2227-2245.
- [7] Lippicott, J., Lippincott, B. and Starr, M. 1981 The genus *Agrobacterium*. In *The Prokariotes* (Ed Starr, M., Stolp, H., Truper, H. balows, A. and Schlegel, H.G.) pp 842-855. Springer. Berlin.
- [8] Martienssen, M and Schöps, R. 1999 Population dynamics of denitrifying bacteria in a model bio-community. *Water Research*. 33(3): 639-646.

- [9] Payne, W.J. 1981 Denitrification. John Wiley and Sons Inc. U.S.A. 213 pp.
- [10] Thomas, K.L.; Lloyd, D. and Boddy, L. 1994 Effects of oxygen, pH and nitrate concentration on denitrification by *Pseudomonas* species. FEMS Microbiology Letters. 118: 181-186.

Influencia de la carga hidráulica sobre la eliminación de nitrógeno y materia orgánica de aguas residuales urbanas mediante lechos inundados

■ *J.M. Gálvez Rodríguez; M.A. Gómez Nieto; M.F. Sáez Ortega; M.A. Zamorano Toro
J. González-López*

Grupo Microbiología y Técnicas Ambientales de la Universidad de Granada

Introducción

El vertido de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo contenido en las aguas depuradas de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) a zonas sensibles provoca procesos de eutrofización deteriorando la calidad de las aguas por lo que la normativa los limita. En este trabajo se estudia la aplicación de biopelículas para la eliminación de materia orgánica y nitrógeno mediante el proceso biológico de nitrificación-desnitrificación.

La biopelícula o biofilm, es una estructura compleja formada por agregados celulares (grupos de células densamente empaquetados) y huecos intersticiales, adherida a un material que puede ser de origen natural o sintético (1). Su estructura es morfológica y fisiológicamente distinta a la de bacterias libres, utilizándose incluso mediadores químicos intercelulares para desarrollar la película (2, 3). Bien distinto a los fangos activos, ya que en éstos los microorganismos están libremente suspendidos. El concepto básico de su formación se muestra en la figura 1, mientras que en la figu-

ra 2 observamos un detalle de la biopelícula obtenida en nuestro laboratorio en la columna de desnitrificación.

Recientemente, las tecnologías basadas en biopelícula y en especial los sistemas de lechos inundados están siendo aplicadas en procesos de depuración de efluentes de diverso origen debido a sus múltiples ventajas sobre los procesos tradicionales de fangos activos, ya que permiten el desarrollo de microorganismos de crecimiento específico bajo (metanogénicos, nitrificantes), poseen un elevado rendimiento, no requieren de decantador secundario, son menos susceptibles a cargas variables o intermitentes, modulares y fácilmente integrables en el medioambiente.

Partiendo de los conocimientos adquiridos por nuestro Grupo de Investigación, el objetivo principal de esta tesis es el estudio y optimización del proceso de lechos inundados para la eliminación de materia orgánica y nitrogenada, desarrollando para ello una planta a escala de laboratorio que permita la aplicación de múltiples variables.

Materiales y métodos

Características del reactor

Se ha desarrollado una planta piloto a escala de laboratorio que sea la base para el estudio del comportamiento de plantas experimentales de mayor tamaño; para que de esta forma se pueda operar en un laboratorio de investigación con facilidad para aplicar modificaciones en su diseño y disponer de todos los dispositivos analíticos y de control lo más cerca posible. Por esto se optó por desarrollar la investigación en las instalaciones del Instituto del Agua de la Universidad de Granada.

La planta piloto a escala de laboratorio está formada por dos columnas de metacrilato (2 m de altura y 6 cm diámetro interno) unidas en la parte inferior por una llave de paso para realizar los lavados independientemente. Cada columna forma un biofiltro de 1 m de altura siendo el material soporte de la biopelícula esquistos arcillosos procedentes de residuos de la construcción. El primer biofiltro (flujo descendente) lleva a cabo la eliminación de la materia orgánica y la nitrificación de los compuestos nitrogenados, el segundo (flujo ascendente) desnitrifica mediante la adición de una fuente de carbono de fácil asimilación y de bajo costo como el metanol. La entrada de agua al sistema y la dosificación de metanol se realiza por sendas bombas peristálticas (Watson Marlow 505S e Ismatec) fig. 3, 4.

La aireación de proceso y lavado, se lleva a cabo mediante tubo de silicona agujerado, mientras que existen 4 puntos de muestreo en cada columna. Se realizan secuencias de lavado (3 fases) cada 24 h, para mantener el biofiltro en condiciones óptimas de funcionamiento.

- 1. Fase de esponjamiento, sólo aire.
- 2. Fase de lavado, con agua y aire.
- 3. Fase de aclarado, sólo agua.

Agua residual

El agua a tratar procede del decantador primario de

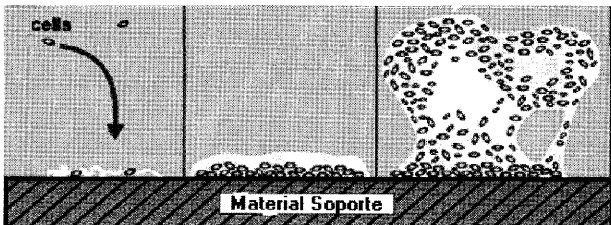


Figura 1. Formación de la biopelícula.



Figura 2. Detalle biofilm desnitrificante.

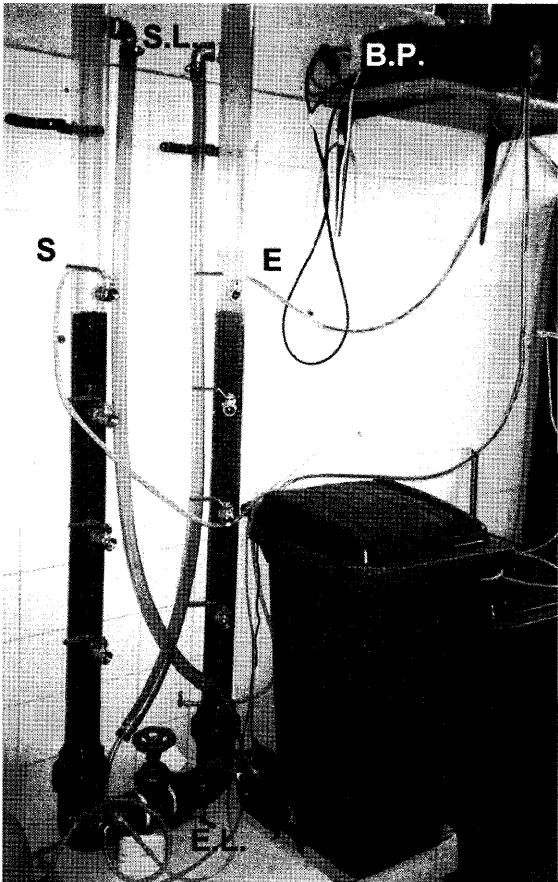


Figura 3. Planta en funcionamiento. *E*, Entrada agua residual; *S*, Salida; *E.L*, Entrada agua de lavado; *S.L*, Salida agua de lavado; *B.P.* Bomba peristáltica.

pensión 120 mg/l. El alto contenido en Nitrógeno es debido a que la hora de muestreo (1 PM), momento en que la concentración de este elemento es máximo del día.

Análisis

Nitrato, nitrito y amonio fueron medidos utilizando kit de Merck Spectroquant® 1.14773, 1.14776 y 1.14544 respectivamente. Oxígeno disuelto (OD), nitrógeno total (Ntotal), DBO5 y DQO se determinaron según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (4).

Resultados y discusión

Capacidad desnitrificante del biofiltro

Los principales resultados se expresan en la figura 5 y 6. A medida que va aumentando el caudal la capacidad nitrificante va disminuyendo, por lo tanto se reduce la desnitrificación no eliminándose todo el nitrógeno.

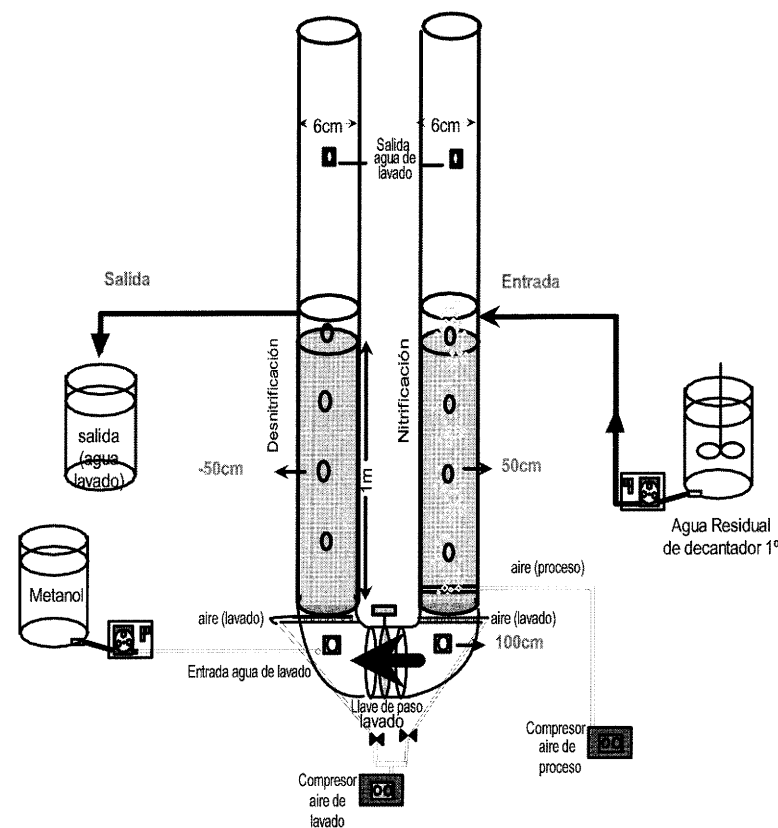
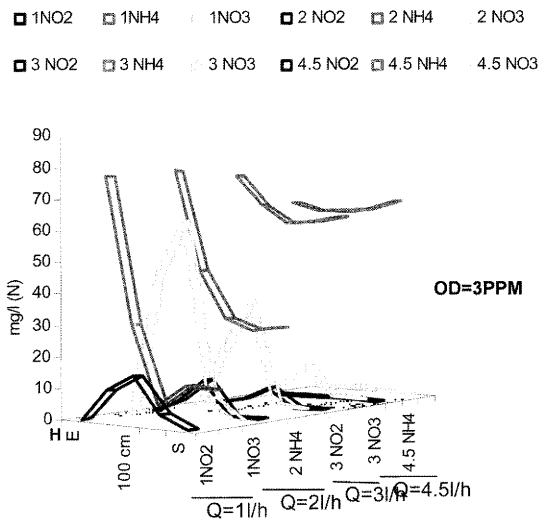
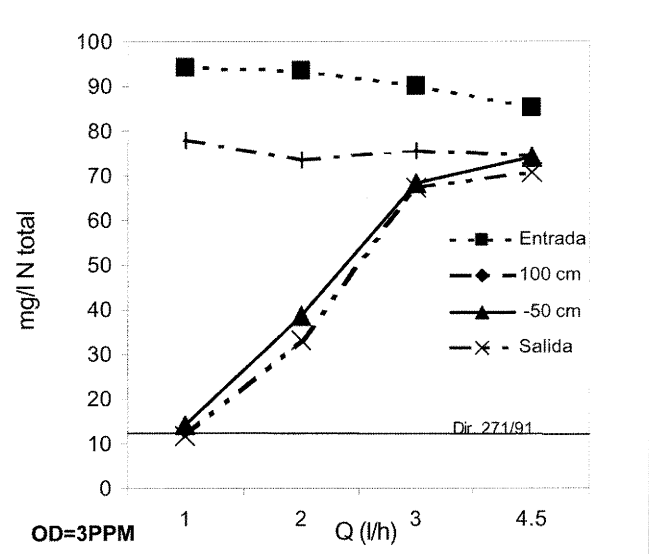
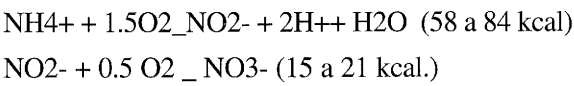


Figura 4. Esquema planta piloto.



Figuras 5 y 6. Valores de N total, NO₃⁻, NO₂⁻ y NH₄⁺ a distintas alturas de columna y a diferentes caudales, para OD = 3 ppm.

la EDAR Sur de Granada perteneciente a EMASAGRA. Es recogida cada 3 días y almacenada. Su composición media es la siguiente: DBO5 135mg/l; DQO 450 mg/l; Nitrógeno Total 90 mg/l, Sólidos en Sus-



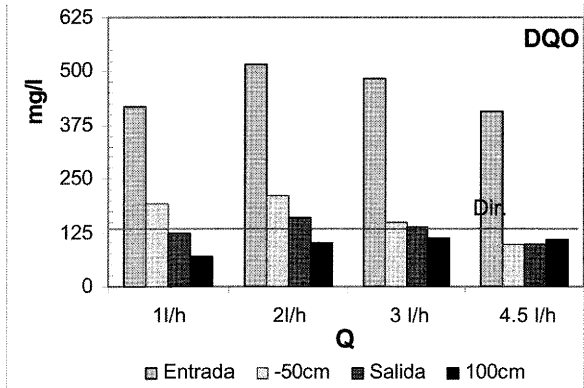


Figura 7. DBO₅ a distintas alturas de columna y a diferentes caudales para OD = 3 ppm.

La nitrificación es el paso limitante a la eliminación de nitrógeno, al ser esta un proceso quimiolitotrofo se ve limitada por la presencia de fuente de carbono orgánico, además se requiere un tiempo hidráulico de residencia mayor que el de la eliminación de materia orgánica. Por otra parte, altas cargas orgánicas favorece el desarrollo de heterótrofos (mayor velocidad de crecimiento), por lo tanto acaparán todo el oxígeno y nutrientes disponibles obstaculizando la nitrificación

(5), esta hipótesis esta verificada por tests respirométricos (6). En consecuencia, el oxígeno necesario para que las bacterias del género Nitrobacter y Nitrosomonas puedan oxidar el amonio a nitrito y este a nitrato es utilizado por las bacterias heterótrofas para oxidar la materia orgánica. Esta competencia directa entre heterótrofos y autótrofos es una de las principales causas de su inhibición (7).

Eliminación de materia orgánica

La eliminación de materia orgánica se ve reflejada en las gráficas 7 y 8. Se marca con una línea los límites propuesto por la Directiva Europea 271/91 para el agua de salida (25 ppm DBO₅, 125 ppm DQO y 15 ppm N total 100,000 < hb <10,000 y 10 cuando hb > 100,000). Puede resultar extraño el aumento de DBO₅ y DQO en los puntos de muestreo (-50 cm y salida) siendo debido al exceso de fuente de carbono adicionada (156 ml Metanol/m³ agua tratada) para realizar la actividad desnitrificante.

Los parámetros de diseño obtenidos a los 4 cauda-

CUADRO 1. Cargas y rendimientos en eliminación de DQO para distintos caudales con 1 m de altura de lecho en ambas columnas

| | | Vol 2 columnas | | Vol 1 columna | | |
|--------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------|----------------|
| I/h | m3/m2/h | Kg DQO/m3/dia | Kg DQO/m3/dia | % | % | kg DQO/m2/d |
| | | Entrada | Entrada | Eliminación | Eliminación | |
| Caudal | C. Hidráulica | C. Volúmica | C. Volúmica | Rendimiento | Rendimiento | C. Superficial |
| 1 | 0.354 | 1.815 | 3.629 | 71.7 | 81 | 3.629 |
| 2 | 0.707 | 4.584 | 9.168 | 69.2 | 80.9 | 9.168 |
| 3 | 1.061 | 8.015 | 16.029 | 75 | 80.2 | 16.029 |
| 4.5 | 1.592 | 7.768 | 15.537 | 75.8 | 73.5 | 15.537 |

CUADRO 2. Cargas y rendimientos en eliminación de nitrógeno total para distintos caudales con 1 m de altura de lecho en ambas columnas

| | | Vol 2 columnas | | Vol 2 columnas | | |
|--------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|--------|
| I/h | m3/m2/h | Kg NT/m ³ /dia | m ³ /m ² /h | kg Ntotal/m ² /d | % | horas |
| | | Entrada | | | Eliminación | |
| Caudal | C. Hidráulica | C. Volúmica | C. Hidráulica | C. Superficial | Rendimiento | T.R.H. |
| 1 | 0.354 | 0.4 | 0.354 | 0.793 | 89.00 | 3.205 |
| 2 | 0.707 | 0.827 | 0.707 | 1.638 | 78.20 | 1.603 |
| 3 | 1.061 | 0.655 | 1.061 | 1.297 | 44.00 | 1.068 |
| 4.5* | 1.592 | 1.643 | 1.592 | 3.255 | 16.90 | 0.712 |

les ensayados, manteniendo constante la concentración de oxígeno disuelto a 3 ppm, son los presentados en las tablas 1 y 2.

Según Peladan (8) a mayor flujo de agua mayor será transferencia de sustrato hacia el biofilm, mejor distribución del flujo y de la biomasa a través del biofiltro. De Beer (9) demostró desde un punto de vista microscópico que el incremento en velocidad de flujo mejora la transferencia entre la fase líquida y la biopelícula. A pesar de que se reduce el tiempo de contacto, el incremento de la velocidad del agua tiene un efecto positivo sobre el índice global de transferencia y por consiguiente sobre la capacidad máxima del filtro, aunque hay que establecer cuales son los límites capaces de soportar cada sistema y para cada elemento a depurar, para la eliminación de materia orgánica la carga hidráulica soportada es mayor que para la eliminación de nitrógeno.

Conclusiones

Los resultados presentados con altura de relleno 1 metro (en cada reactor) y oxígeno disuelto 3 mg/l nos permiten cumplir con la directiva 271/91 en base a materia orgánica para todos los caudales ensayados (carga hidráulica máxima 1.6 m/h, correspondiente a carga volumétrica para la columna aeróbica de DQO 16 kg DQO/m³/día). Respecto a la eliminación de nitrógeno, en las condiciones fijadas se permiten cargas hidráulicas máximas de 0.8 Kg NT/m³/día para verificar la directiva.

Por otra parte, debe optimizarse la dosificación de la fuente de carbono para evitar aumentos de DQO y DQB5 a la salida del sistema, así como ensayar el propio influente el (materia orgánica del agua residual) como donador de electrones en el proceso de desnitrificación, proceso conocido como predesnitrificación.

Bibliografía

1. Lewandowski Z., Stoodley P. y Roe F. 1994. Internal mass transport in heterogeneous biofilms: recent advances. The NACE International Annual Conference and Corrosion Show, Paper No. 222.
2. Davies D.G., Parsek M.R., Pearson J.P., Iglewski B.H., Costerton J.W y Greenberg E.P. 1998. The involvement of cell-to-cell signals in the development of a bacterial biofilm. *Science*. 280:295-298.
3. De Beer D., Stoodley P., y Lewandowski Z. 1996. Liquid flow and mass transport in heterogeneous biofilms. *Water Research*. 30:2761-2765.
4. APHA AWWA and WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19 edición. American Public Health Association, Washington D.C.
5. Hem L.J, Rusten B. y Odegard H. 1994. Nitrification in a moving bed biofilm reactor. *Water Science Technology*. 28:1425-1433.
6. Lazarova V. y Manem J. 1996. An innovative process for wastewater treatment: the circulating floating bed reactor. *Water Science Technology*. 34:89-99.
7. Eckenfelder W.W. y Musterman J.L. 1995. Activated sludge treatment of industrial wastewater. Ed. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, Pennsylvania.
8. Peladan J.G., Lemmel H., Tarallo S., Tattersall S. y Pujol R. 1997. A new generation of upflow biofilters with high water velocities. *Proceedings of International Conference on Advanced Wastewater Treatment Processes*. Leeds., U.K.
9. De Beer D. 1997. Microenvironments and mass transfer phenomena in biofilm and activated sludge studied with microsensors. *Proceedings of Environmental Biotechnology International Symposium*. Oostende.

La turba y la depuración de aguas residuales urbanas.

Criterios de diseño

■ *A. Ramos; M. Zamorano; M.A. Gómez; B. Moreno, J.I. Pérez*

Grupo de Microbiología y Técnicas Ambientales de la Universidad de Granada

Resumen

Tras varios años de experimentación con lechos de turba tanto a escala piloto como a escala real, se presentan una serie de problemas de funcionamiento que motivan la realización de una nueva investigación, la cual pretende definir criterios de funcionamiento y diseño de los lechos de turba en la depuración de aguas residuales urbanas con una única etapa de filtración, así como la influencia del tipo de turba en el proceso depurador.

Para dicha investigación se ha comparado el funcionamiento de los lechos empleando tres diferentes turbas de origen español (procedentes de las localidades de Padul, Buyo, y de Castellón) y una turba de origen lituano (*Spagnum*). Se ha trabajado con dos cargas hidráulicas 0.6 y 0.9 m³/m² y día, en régimen de percolación. Los ensayos se han realizado a escala semi-técnica.

Los rendimientos obtenidos en cuanto a eliminación de materia orgánica (D.Q.O. y D.B.O.5) no cumplían en ningún caso con las exigencias de la Directiva 271 de la Comunidad Económica Europea, dejando

patente la necesidad de trabajar a más bajos caudales o realizar un tratamiento previo. Sin embargo, los rendimientos obtenidos en cuanto a eliminación de sólidos en suspensión ponen de manifiesto la idoneidad de estos procesos como tratamientos primarios de alto rendimiento. Tanto el tipo de turba empleada como la carga hidráulica de trabajo condicionaron los rendimientos finales del proceso.

Introducción

En pequeñas y medianas poblaciones, y como alternativa a los sistemas de depuración convencionales, se han empezado a desarrollar las llamadas “tecnologías blandas” o “de bajo coste” para depuración de sus aguas residuales (4). Existe una serie de técnicas aplicables que, por su sencillez de operación y reducido o nulo consumo energético, reciben la denominación de Tecnologías Blandas. En España, últimamente, estas tecnologías están empezando a experimentar un gran auge como alternativas a los tratamientos convencionales en pequeños y medianos núcleos de población (menores a 25.000 h-e) ya que ha quedado

demostrado que, los sistemas convencionales aplicados a estos núcleos, han tenido una viabilidad casi nula, debido, fundamentalmente, a los elevados costes de explotación y mantenimiento, así como a la necesidad de personal especializado. La depuración de aguas residuales mediante lechos de turba se encuentra enmarcada dentro de estas tecnologías.

La turba es el resultado de la acumulación de materia vegetal y de su degradación biológica en condiciones de exceso de agua y falta de oxígeno (6). Es un material orgánico parcialmente descompuesto, poroso y con una gran capacidad de retención de los cationes metálicos de transición así como de moléculas orgánicas polares.

La turba ha sido extensamente usada en la depuración de aguas residuales. Los lechos de turba como sistemas de bioadsorción son propuestos por Martin (7). El proceso es altamente flexible, poco afectado por fluctuaciones de temperatura, intensidad de caudal y carga del efluente (8). Otra ventaja es que reduce los costes de construcción y explotación. Su simplicidad de operación no requiere una alta especialización en el trabajo y su proceso está bien acomodado a las necesidades de pequeños municipios. El uso de la turba como un agente para combatir los contaminantes en flujos líquidos y su papel de soporte de la población microbiana hace de ella un filtro biológico ideal como sistema de tratamiento.

Al margen de todas estas ventajas debemos considerar la influencia que sobre el rendimiento del proceso tiene el tipo de turba empleado. Podemos considerar diferentes tipos de turba en función de su origen, tipo de agua sobre el cual se formó, materiales iniciales, grado de descomposición, condiciones climáticas, etc. Todo esto condiciona los caracteres físico químicos de las turbas (densidad, porosidad, capacidad de cambio, composición química etc.) y por lo tanto su efectividad como medio filtrante o como soporte microbiano, propiedades que afectarán al proceso depurador que se pretende (7).

Es por lo tanto objeto de la investigación estudiar el

comportamiento de diferentes tipos de turba frente al tratamiento de agua residual urbana, realizándolo de modo comparativo. Se trata en definitiva de resaltar la importancia que las características de este material tienen en el rendimiento del proceso depurador.

Materiales y métodos

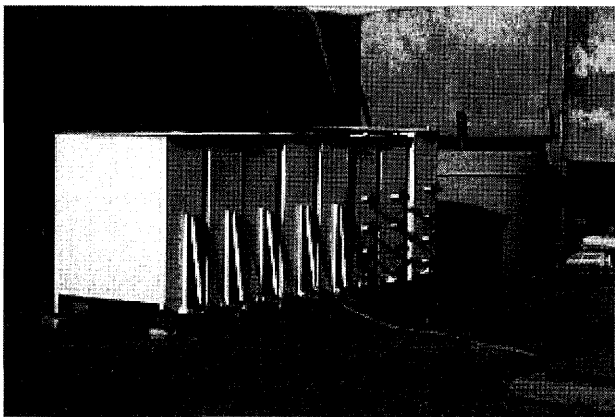
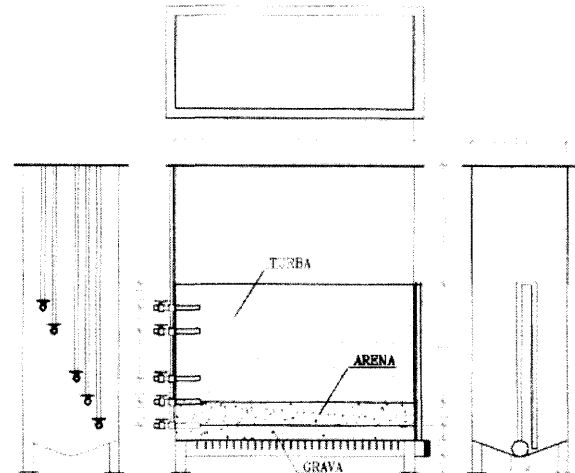


Figura 1. Esquema y aspecto de los lechos de turba empleados en la investigación.

Para la realización de la investigación se diseñaron y construyeron 8 lechos de turba a escala semi-técnica, fabricados de hierro con fondo con distribución troncopiramidal para facilitar el drenaje. Las plantas disponen de piezómetros a diferentes alturas que permiten conocer las pérdidas de carga en relación al perfil del lecho. La figura 1 muestra un esquema de los sistemas diseñados así como aspecto de los mismos.

La superficie útil del lecho fue de 0,4 m² y el volumen total de 0.47 m³. El relleno consta de 3 capas perfectamente diferenciadas. La primera (6 cm y la parte troncocónica de la planta semi-técnica) se completó con grava (4 a 9 mm), la segunda (10 cm) de arena silíceas (0,5 a 2 mm) y la capa superior (50 cm) de turba.

El sistema se alimentó con agua residual pretratada, empleando una bomba peristáltica, para ello se dispuso de un sistema de distribución de agua residual a los 8 lechos mediante tuberías de PVC horizontales. El agua fue tomada de un depósito de regulación (1.8 m³) que facilitó la entrada de un caudal homogéneo. El depósito contó en su interior con una bomba centrífuga de funcionamiento en continuo para evitar sedimentaciones.

En la investigación se emplearon cuatro tipos de turba, cuyas características (tabla 1) se determinaron según los procedimientos descritos por Anon. (1).

– De las turberas de El Padul (Granada). La depresión de Padul, con una superficie de 14 km², se sitúa a unos 20 km al Sur de la ciudad de Granada, y constituye el drenaje natural de una amplia cuenca hidrológica.

– De las del turberas Buyo y del Gistral. Son turbas

pardas de alta montaña, libre de sales y con un elevado contenido en materia orgánica y sustancias húmicas. Procedente de musgos *Sphagnum* y de ericáceas, gramíneas y juncáceas.

– De las turberas de Castellón. Se encuentran en la región de lagunas y marjales costeros de Torreblanca (Castellón). Son turbas negras de elevado grado de descomposición.

– De las turberas de Lituania. La turba *Sphagnum lituana* es una turba poco descompuesta procedente de las turberas altas. Se extraen de turberas en Lituania que al no haber sido objeto de explotación agrícola con anterioridad están libres de gérmenes fitopatógenos y nematodos.

Cada uno de los lechos se rellenaron con la turba correspondiente (dos lechos para cada tipo) trabajando en un caso con una carga hidráulica de 0.6 m³/m² día y en el segundo caso de 0.9 m³/m² día. El sistema se mantuvo en funcionamiento hasta registrarse una pérdida de carga superficial de 10 cm sobre el nivel de turba.

El agua tratada se analizó para los valores de: DBO₅, SS, DQO, pH, NH₄⁺, NO₂⁻ y NO₃⁻. Todas las determinaciones se basaron en las indicaciones del

CUADRO I.
Características de las turbas empleadas en la investigación

| DENOMINACION | PADUL | CASTELLON | BUYO | LITUANA |
|---|-------|-----------|-------|---------|
| HUMEDAD SECA AL AIRE (%) | 12,29 | 13,36 | 11,75 | 14,11 |
| POROSIDAD (%) | 49,02 | 57,31 | 62,39 | 86,99 |
| DENSIDAD APARENTE (gr/cm3) | 0,77 | 0,61 | 0,50 | 0,12 |
| DENSIDAD REAL (gr/cm3) | 1,51 | 1,42 | 1,32 | 0,92 |
| INTERCAMBIO CATIONICO (meq./100gr) | 180 | 165 | 160 | 175 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTR. uS/cm 1/25 | 1867 | 1480 | 441 | 259 |
| Ph 1/25 | 5,89 | 7,50 | 4,90 | 3,83 |
| CENIZA (%) | 65,92 | 43,20 | 39,47 | 8,33 |
| CARBONO TOTAL (%) | 19,80 | 16,40 | 22,70 | 44,20 |
| MATERIA ORGANICA INCINERACION (%s.m.s.) | 34,08 | 56,80 | 60,53 | 91,67 |
| NITROGENO TOTAL (%) | 0,70 | 0,66 | 0,68 | 0,80 |
| C/N | 28,29 | 24,85 | 33,38 | 55,25 |

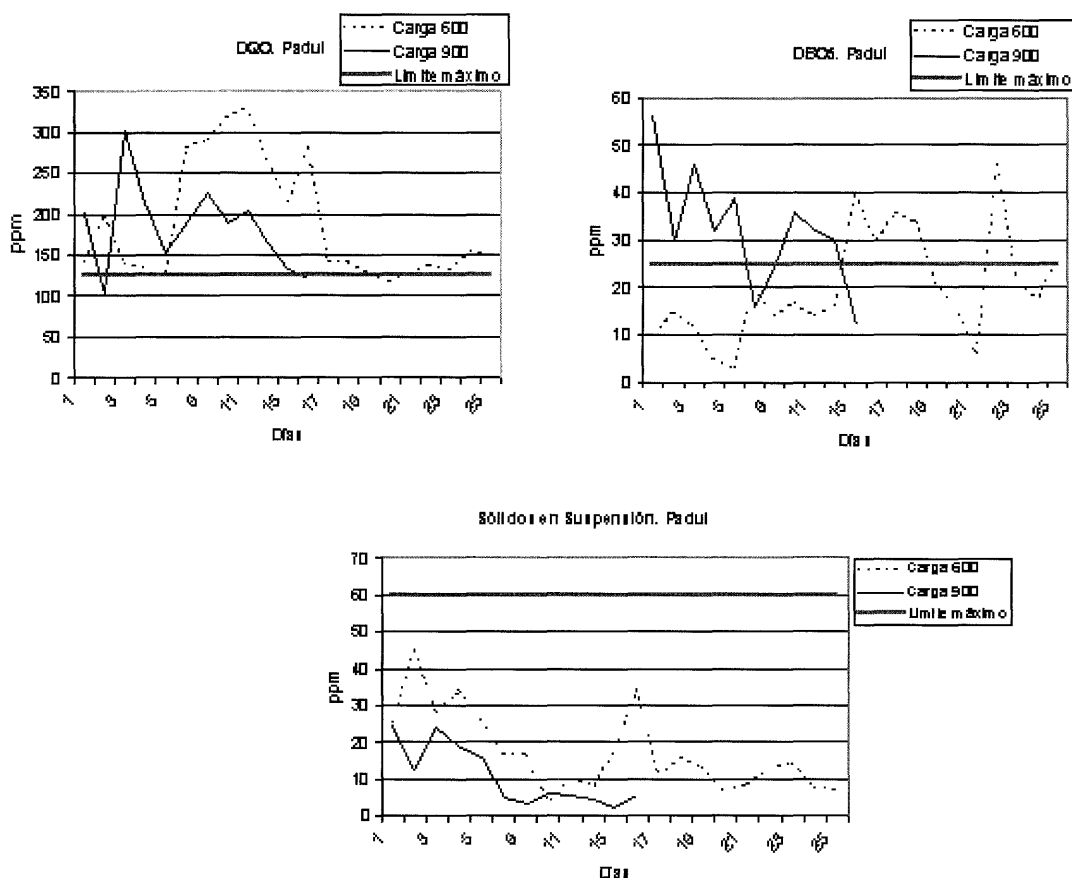


Figura 2. Valores de S.S, D.B.O.5 y D.Q.O. en el agua tratada para los ensayos realizados con la turba del Padul.

Standard methods for the examination of water and wastewater (2). Todos los Datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante ANOVA, empleando el programa Statgraphics Plus versión 3.0 para Windows (Statcal Graphics Corp, 1997).

Resultados y discusión

Los sistemas mediante lechos de turba se presentan como sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas adecuados para su aplicación a pequeñas poblaciones, sin embargo, factores como el tipo de turba empleado o parámetros como la carga hidráulica condicionan la idoneidad de la aplicación de estos sistemas.

Todos los ensayos realizados confirmaron la idoneidad de la turba como un medio filtrante. Este proceso físico permite reducir los valores de sólidos en suspensión bajo los límites establecidos por la legisla-

ción para poblaciones menores de 10.000 habitantes equivalentes (D. 271/91). No se apreciaron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión para cada una de las turbas ensayadas encontrándose concentraciones medias que oscilaron sobre 15 mg/l. (Figuras 2, 3, 4 y 5).

La carga hidráulica no influía en el rendimiento en eliminación de sólidos en suspensión no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las cargas empleadas. Hay que considerar para la interpretación de estos datos tanto el tiempo de uso de la turba (al inicio hay mayor desprendimiento de sólidos) y carga orgánica. Los rendimientos obtenidos están acordes con los presentados por otros autores (10), quedando patente la alta efectividad de estos sistemas en eliminación física de sólidos.

En ninguno de los ensayos realizados se apreciaron rendimientos óptimos para la D.B.O.5. Estando estos

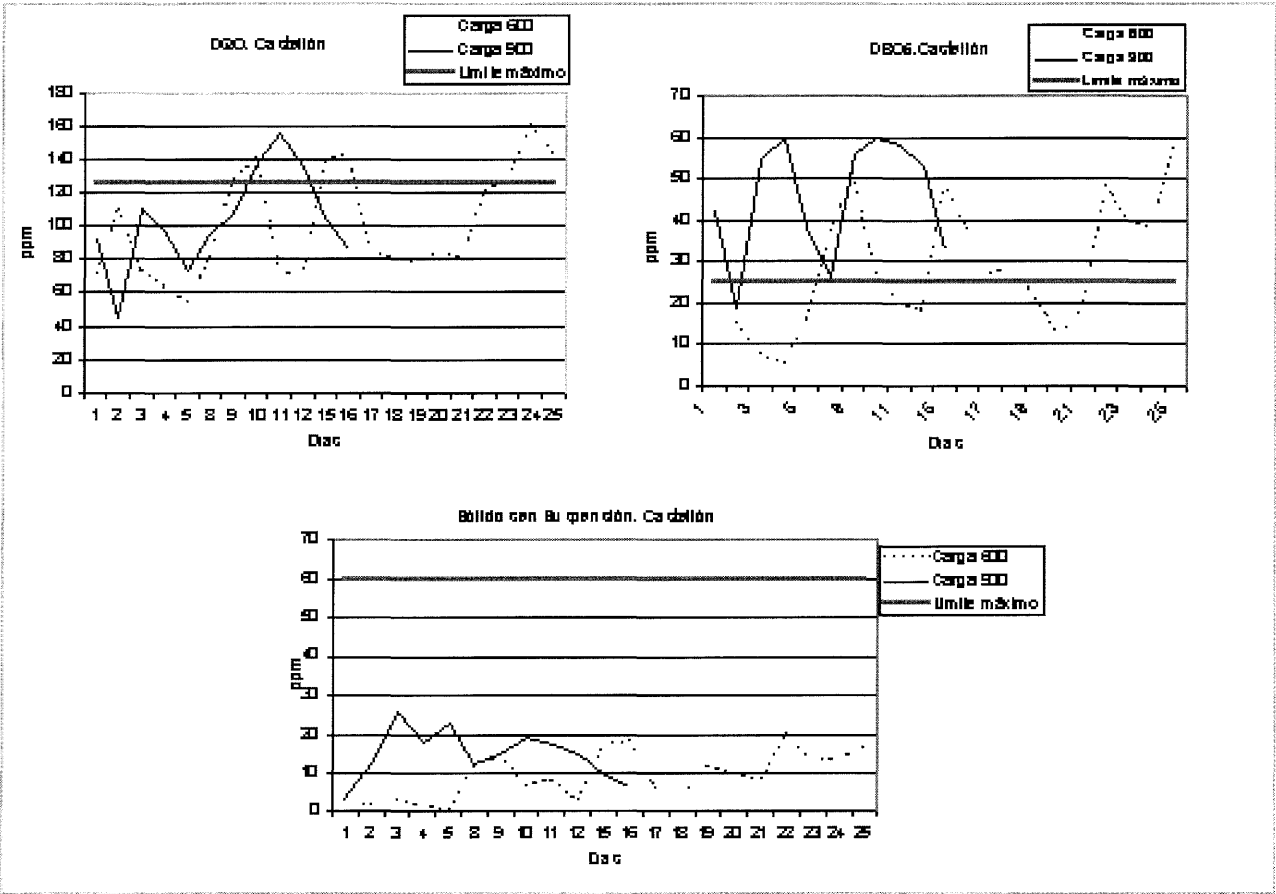


Figura 3. Valores de S.S. D.B.O.5 y D.Q.O. en el agua tratada para los ensayos realizados con la turba de Castellón.

por encima de los 25 mg/l. Para este parámetro se apreciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$) entre el tipo de turba empleada y la carga hidráulica, siendo los valores más favorables para los ensayos con la turba del Padul, con valores medios de 31 mg O₂/l (Figura 2) y para la carga hidráulica de 0.6 m³/m² día. Los peores rendimientos se apreciaron para la turba tipo Sphagnum poco descompuesta obtenida de Lituania.

Al igual que para la D.B.O.5, para la D.Q.O. no se alcanzaron valores óptimos de rendimiento. Para este parámetro no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tipo de turbas empleadas, estando las concentraciones medias del agua tratada sobre 150 mg O₂/l. Hay que destacar los resultados obtenidos en los ensayos con la turba de Buyo cuya concentración media oscilaba sobre 127 mg O₂/l (Figura 4). Para los valores de carga hidráulica si se apreciaron diferencias estadísticamente significativas

($p < 0.05$) obteniéndose en todos los casos mejores rendimientos para los ensayos con carga hidráulica de 0.6 m³/m² día.

Los rendimientos obtenidos para los parámetros relativos a la concentración de materia orgánica son inferiores a los observados para otros trabajos realizados con cargas hidráulicas semejantes (10). Hay que considerar como diferencia fundamental que los ensayos se realizaron sobre agua residual pretratada, mientras que los ensayos de Talbot et al (10) se realizaron sobre efluente procedente de decantador digestor. Este tipo de aplicaciones pretenden reducir costes tanto de primera instalación como de explotación y mantenimiento, lo cual se consigue al eliminar el tratamiento primario (menor obra civil y equipos así como menores problemas de tratamiento de fangos primarios). Sin embargo los bajos rendimientos obtenidos en cuanto a eliminación de materia orgánica obligan a reducciones considerables del caudal de trabajo, ensayos realizados

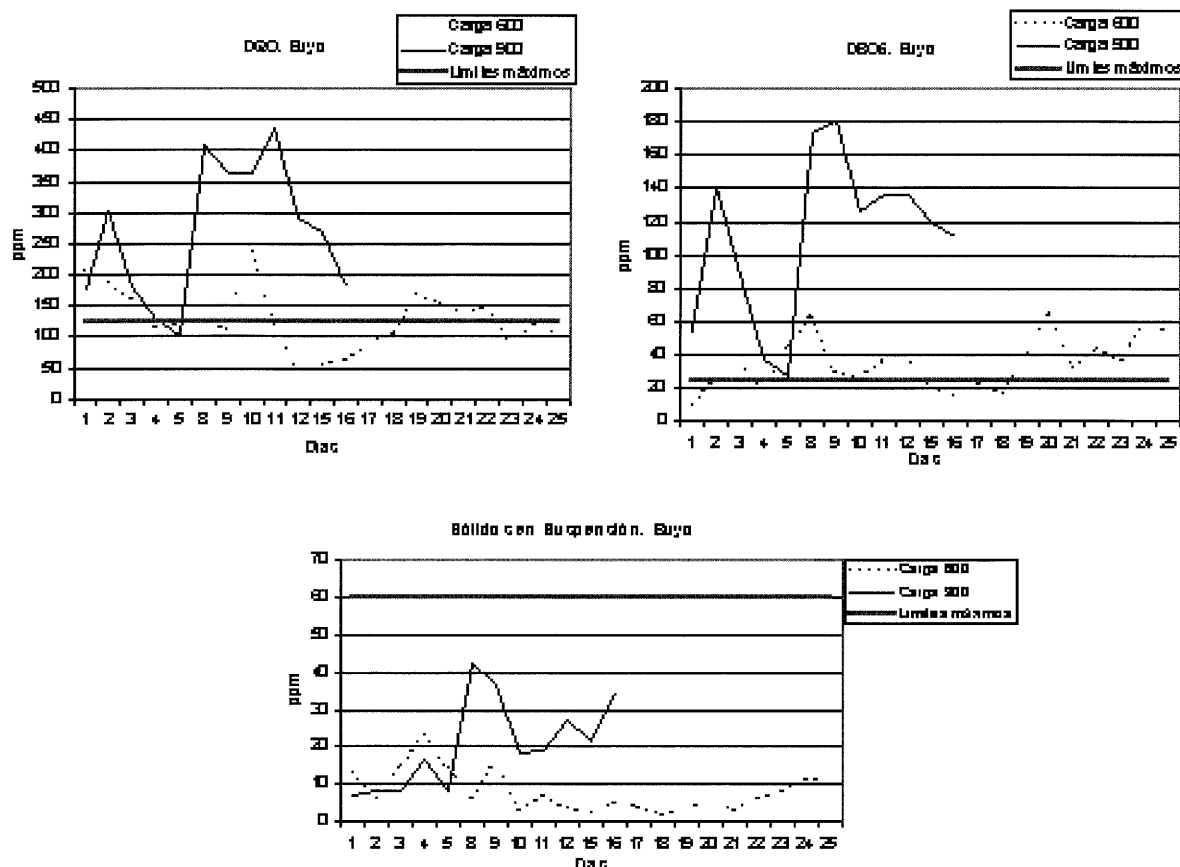


Figura 4. Valores de S.S. D.B.O.5 y D.Q.O. en el agua tratada para los ensayos realizados con la turba de Bujo.

por Brooks *et al* (3), o bien a adicionar un tratamiento anterior. La reducción de estos parámetros parece estar condicionada a la filtración física, no siendo destacable la eliminación biológica de materia orgánica. Esta apreciación puede considerarse a partir de las observaciones sobre microorganismos flagelados realizadas por Colmenarejo *et al* (5).

No se apreció una eliminación destacable de nitrógeno, aunque si variaciones entre las diferentes formas de oxidación de este nutriente. Los niveles de NH_4^+ descendieron en todos los ensayos realizados, incrementándose la concentración de NO_2^- y principalmente de NO_3^- . Esto pone de manifiesto una actividad biológica nitrificante la cual es más importante a menor carga hidráulica. Rock *et al* (9) llegaron a describir tanto actividad nitrificante como desnitrificante en lechos de turba, llegando a significar una reducción de nitrógeno del 62%. Estos valores fueron obtenidos

para lechos con 30 cm de espesor y una carga hidráulica de $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}$, lo cual pone de manifiesto la necesidad de caudales de trabajo muy bajos para lograr rendimientos adecuados en eliminación de nutrientes mediante estos sistemas.

Básicamente los lechos de turba se comportan como sistemas físicos de filtración en superficie que permiten reducir la concentración de sólidos en suspensión en aguas residuales urbanas pretratadas con rendimientos superiores al 90%. Esto confirma la idoneidad de estos sistemas como tratamiento primario de alto rendimiento.

Bibliografía

- (1) Anon. 1994 Análisis de suelos. Escuela Politécnica Superior de Almería. Almería.
- (2) APHA, AWWA and WEF (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater.

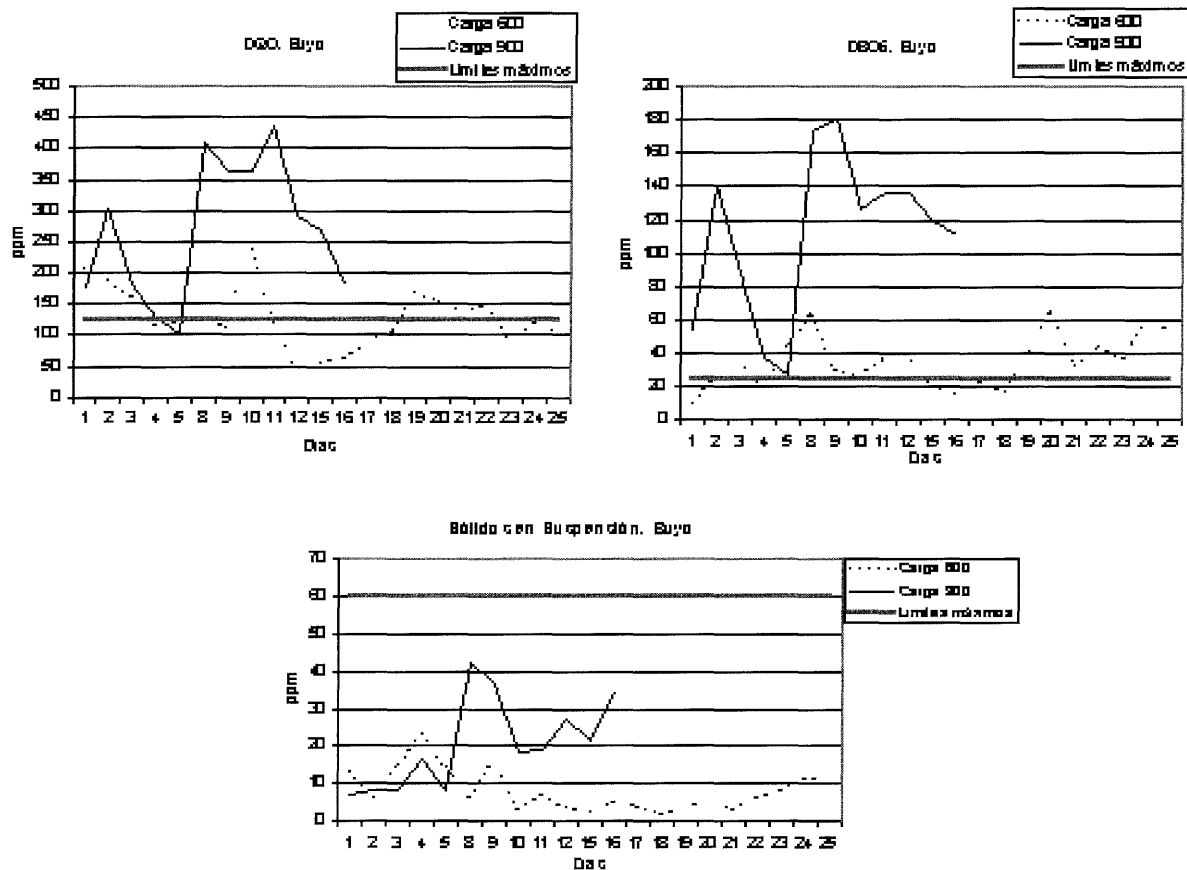


Figura 5. Valores de S.S. D.B.O.5 y D.Q.O. en el agua tratada para los ensayos realizados con la turba Lituana.

- 18th ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- (3) Brooks, J.R.; Rock, C.A. and Struchtemeyer, R.A. 1984 Use of peat for on-site wastewater treatment: II Field studies. *Journal Environmental Quality*. 13: 524-530.
 - (4) Collado, R. Y Vargas, G. 1991 La depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. *Criterios de Selección. Tecnología del Agua*. 80: 28-46.
 - (5) Colmenarejo, M.A.; García, M.G.; Bustos, A.; Borja, R. And Banks, C.J. 1997 The Influence of wastewater type and organic loading on the protozoan and metazoan population of a peat bed filter. *Journal of Environmental Science Health*. A32(1):145-152.
 - (6) Fuchsman, C.H. 1980 Peat: industrial chemistry and technology. Academic press, New York.
 - (7) Martin, A.M. 1991 Peat as an agent in biological degradation: peat biofilters. In *Biological degradation of Wastes* (edited by Martin, A.M.) pp 341-362. Elsevier, London.
 - (8) Meunier, F. 1985 Utilisation de la tourbe pour le traitement des eaux usées. In *Proceedings 8th Symposium sur le Traitement des Eaux Usées*. Montreal, pp 197-203 AQTE, Montreal, Québec. Canada.
 - (9) Rock, C.A.; Brooks, J.L.; Bradeen, S.A.; and Struchtemeyer, R.A. 1984 Use of peat for on-site wastewater treatment: I laboratory evaluation. *Journal Environmental Quality*. 13: 518-523.
 - (10) Talbot, P.; Belanger, G.; Pelletier, M. Laliberté, G. And Arcand, Y. 1996 Development of a biofilter using an organic medium for on-site wastewater treatment. *Water Science technology*, 34(3-4): 435-441.

Efectos del microahoyado y minicuenca en la escorrentía y erosión de una plantación frutal en ladera

▀ **José Méndez García**

Sección de Conservación de Suelos. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia

▀ **M^a. Carmen Ruiz Sánchez**

Dpto. Riego y Salinidad. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC). Murcia

▀ **Rafael Domingo Miguel**

Dpto. Producción Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. UPCT

Antecedentes

Los sistemas tradicionales de manejo del suelo en las plantaciones frutales en ladera afectan a la escorrentía de las lluvias y a la erosión del suelo, influyendo en la efectividad de las lluvias y en la pérdida de fertilidad del suelo. Su sencillez y economía, junto a la comodidad para realizar otras labores de cultivo, motivan la difusión de los mismos, dejando en un segundo plano la pérdida de recursos tan importantes como el agua y el suelo.

El mantenimiento de una cubierta vegetal que cubra el suelo es la mejor forma de reducir la erosión evitando el impacto disgregador de las gotas de lluvia [3], a la vez que se genera menor escorrentía, por la mejora de la infiltración superficial del suelo. En el olivar andaluz en ladera, la protección de la calle con graminéas supera, en reducción de escorrentía y erosión, al laboreo convencional y al no cultivo con herbicidas [5]. Pero en un clima semiárido, como el de la región de Murcia, es difícil implantar una cubierta vegetal y además la competencia por el agua desaconseja su uso. De ahí, que se mantenga libre de vegetación tanto el

arbolado de secano (almendro, viña, etc.) como el de regadío (frutales y cítricos).

El laboreo intensivo del secano, en la dirección de la pendiente, puede dar lugar a tasas de pérdida de suelo de hasta 50 t ha⁻¹ año⁻¹ [4]. En el regadío tradicional la nivelación y las motas para contener el agua de riego contribuyen a la retención de las lluvias resultando prácticamente nulas la escorrentía y la erosión. Sin embargo, en plantaciones en ladera con largas hileras de árboles, regadas por goteo y en las que apenas se acondiciona el suelo la escorrentía aumenta considerablemente.

Prácticas de manejo del suelo tan frecuentes como la aplicación de herbicidas en las líneas de goteo, y la escarda mecánica de las calles mediante el empleo de cuchillas, cultivadores y rotocultivadores favorecen la escorrentía, bien por la compactación y alisado del suelo tras los sucesivos pases de cuchilla o por favorecer la formación de regueros y de costras superficiales, con el empleo del cultivador y rotocultivador. Una buena medida de conservación del suelo bajo estas condiciones sería disponer las líneas de cultivo siguiendo las curvas de nivel [8], práctica que se aleja

de los criterios seguidos en una plantación moderna: ancho de calle uniforme, máxima longitud de hilera, mejor orientación, etc., que da como resultado calles en la dirección de la pendiente, favorables a la escorrentía. El ‘aserpiado’ (formación de minicuecas), antigua práctica empleada en viñedos [6], sería una solución válida al retener el agua de escorrentía y facilitar su infiltración, si resultase fácil de mecanizar.

Por todo ello, el objetivo global de este trabajo es el estudio de sistemas de manejo del suelo capaces de reducir la escorrentía de las lluvias, de plantaciones frutales en pendiente y con riego por goteo, para mejorar el aprovechamiento de la lluvia, la conservación del suelo y el rendimiento aparente del agua (kg de fruto por m³ de agua de riego más lluvia).

Condiciones experimentales

El ensayo se inició en enero de 1999 en una finca comercial de albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L., cv. Búlida sobre franco de Real Fino) situada en el valle del Río Mula, de coordenadas geográficas 37° 57' N y 1° 25' E y altitud media 350 m. La pendiente longitudinal es del 6-7% en la dirección Noroeste a Sureste y la transversal del 5-6%. El suelo es de textura franco arcillosa, con un contenido en materia orgánica del 1.2% y densidad aparente 1.5 Mg m⁻³. Los árboles de 12 años de edad, están dispuestos en la dirección N-S, a marco de 8 x 8 m y se vienen regando por goteo desde su plantación con un único lateral por hilera de árboles, con 7 emisores por árbol de 4 l h⁻¹. Las labores de cultivo son las propias de las plantaciones de hueso en la zona, manteniendo el suelo libre de malas hierbas a partir de la aplicación localizada de herbicidas, en las bandas mojadas, y escarda mecánica con cuchilla a la profundidad de 3-5 cm, en las zonas secas. La fertilización seguida en la parcela no contempla aportes orgánicos al suelo. La finca dispone de una estación meteorológica automática.

Los primeros resultados de escorrentía y pérdida de suelo recogidos en este trabajo fueron obtenidos en



Foto 1. Equipo de recogida de escorrentía de tres depósitos y dos divisores de caudal.



Foto 2. Arador microahoyador.

condiciones naturales, en calles independientes, a partir de tres parcelas elementales de 8 x 22 m (176 m²) y pendiente del 7%. Las dimensiones se corresponden con el ancho de calle, con límites laterales en la línea de troncos, constituidos por un caballón de tierra, de 3 árboles de longitud, con una zanja de derivación en la parte superior y un canalón recolector de escorrentía en la parte inferior. Las tres parcelas fueron provistas de un equipo de recogida de escorrentía y sedimentos diseñado con tal fin (foto 1). De enero a julio, el suelo de las tres parcelas se mantuvo según las prácticas seguidas por el agricultor, con suelo desnudo y liso (tratamiento control). En agosto se realizaron minicuecas en una de ellas y en otra un microahoyado, permaneciendo la tercera como control.

Equipo de recogida de escorrentía

Para el diseño de los equipos se tuvo en cuenta la máxima escorrentía previsible en un período de retorno de 50 años, en función de una precipitación de 120 mm en 24 horas, e intensidad máxima puntual de 130 mm h⁻¹ [1]. En el caso más desfavorable, con número de curva 95, se obtiene una escorrentía de 105 mm, lo que equivale a un volumen de descarga superior a 18 m³. El caudal máximo, bajo el supuesto de infiltración nula sería de 6.3 l s⁻¹.

Teniendo en cuenta el volumen máximo a recoger, se diseñó un medidor compacto (foto 1) con dos divisores y tres depósitos, limitando su altura al objeto de facilitar su instalación sin necesidad de enterrarlo y excavar desagües. Los divisores son de 1/10 con vertederos triangulares, más sensibles a bajos caudales y con bajo riesgo de obturación, si bien, antes del vertido se instalaron rejillas de filtración. La entrada del agua es tranquilizada para que el vertido sea a nivel. Las nueve partes de agua restantes son evacuadas lateralmente a partir de dos canalones, que, a su vez, sirven para la instalación y nivelación del medidor e impiden la socavación por el agua. Una tapa impide la entrada de lluvia y suciedad.

El canalón colector, de chapa galvanizada de 1.5 mm plegada, dispone de un labio superior que se ajusta al nivel del suelo para evitar la erosión remontante. Es transitable por la maquinaria, al igual que la zanja superior de derivación de forma que no interrumpe las labores normales de cultivo. Además, dispone de una criba para retener flotantes.

Los volúmenes de escorrentía se obtienen a partir de las lecturas de la lámina de agua y superficie de cada depósito, aplicando un factor 10 y 100 para el segundo y tercer depósito, respectivamente. El peso de suelo erosionado se determina en muestras reunidas en agitación continua en el momento de su vaciado. Para ello se toman tres muestras de 700 ml a partir del desagüe de fondo lateral, posteriormente se dejan decantar, se secan en estufa a 105 °C y se obtiene su peso seco.



Foto 3. Detalle labor de microahoyado.



Foto 4. Escorrentía retenida en minicuevas.

Microahoyado

La foto 2 muestra el prototipo de arado diseñado para perforar la superficie del suelo, resquebrajándola en unos 10 cm de profundidad, dejando inalterada la mayor parte de ella. Con esta labor se pretende aumentar la infiltración, al romper parte de la costra superficial compactada, incrementar la rugosidad y crear vías preferentes para el movimiento vertical del agua. Es misión de la parte inalterada de suelo ofrecer una mayor resistencia ante lluvias excepcionales. En la foto 3 se observa en detalle los hoyos realizados tras el pase del arado microahoyador, quedando distribuidos al tresbolillo, 20 x 25 cm, a razón de 20 hoyos por m², de unos 130 cm³ de volumen, lo que equivale a una lámina de agua en superficie superior a 2.5 mm.

Tabla 1

Valores medios y desviación típica de escorrentía y pérdida de suelo en 12 eventos de lluvia registrados entre el 23 de enero y el 27 de julio de 1999 en la parcela control (sin tratamiento de suelo)

| Nº | Evento | Lluvia | | | Escorrentía (mm) | | Suelo perdido (t ha ⁻¹) | |
|-------|--------|--------|----------------|-----------------|------------------|------------|-------------------------------------|------------|
| | | (mm) | I ₅ | I ₃₀ | Media | desviación | Media | desviación |
| 1 | 23-ene | 15.5 | - | - | 5.32 | 0.087 | 0.258 | 0.028 |
| 2 | 01-feb | 5.3 | - | - | 0.29 | 0.041 | 0.002 | 0.000 |
| 3 | 28-feb | 117.0 | 50 | 23 | 70.25* | - | 9.098 | - |
| 4 | 12-mar | 10.4 | 14 | 8 | 4.22 | 0.155 | 0.127 | 0.033 |
| 5 | 13-mar | 14.8 | 22 | 11 | 6.91 | 0.580 | 0.112 | 0.011 |
| 6 | 14-mar | 7.4 | 5 | 4 | 1.37 | 0.140 | 0.006 | 0.001 |
| 7 | 16-mar | 1.4 | 2 | 1 | 0.05 | 0.009 | 0.000 | 0.000 |
| 8 | 24-mar | 34.0 | - | - | 16.79 | 0.839 | 0.726 | 0.114 |
| 9 | 27-mar | 5.7 | - | - | 1.67 | 0.203 | 0.030 | 0.001 |
| 10 | 03-may | 5.6 | 17 | 5 | 0.04 | 0.017 | 0.002 | 0.001 |
| 11 | 06-may | 2.8 | 29 | 6 | 0.23 | 0.114 | 0.017 | 0.007 |
| 12 | 27-jul | 4.0 | 50 | 12 | 0.57 | 0.195 | 0.059 | 0.011 |
| TOTAL | | 223.9 | | | 107.65 | | 10.438 | |

I₅: intensidad máxima 5 minutos (mm h⁻¹); I₃₀: intensidad máxima 30 minutos (mm h⁻¹).

*valor de una parcela elemental.

Tabla 2

Valores de escorrentía y pérdida de suelo en los eventos de lluvia registrados entre el 26 de agosto y el 29 de noviembre de 1999 en las parcelas control (sin tratamiento de suelo), con microahoyado (MA) y con minicuecas (MC)

| Nº | Evento | Lluvia | | | Escorrentía (mm) | | | Suelo perdido (t ha ⁻¹) | | |
|-------|--------|--------|----------------|-----------------|------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|
| | | (mm) | I ₅ | I ₃₀ | Control | MA | MC | Control | MA | MC |
| 13 | 26-ago | 6.9 | - | - | 1.56 | 0.11 | 0.10 | 0.181 | 0.041 | 0.017 |
| 14 | 04-sep | 8.8 | 19 | 5 | 0.67 | 0.06 | 0.02 | 0.028 | 0.005 | 0.005 |
| 15 | 06-sep | 26.4 | 62 | 47 | 20.69 | 11.09 | 6.68 | 1.621 | 1.430 | 1.037 |
| 16 | 06-oct | 11.6 | 17 | 9 | 1.02 | 0.07 | 0.09 | 0.021 | 0.002 | 0.002 |
| 17 | 07-oct | 18.3 | 19 | 10 | 4.68 | 0.39 | 0.33 | 0.083 | 0.031 | 0.023 |
| 18 | 17-oct | 11.5 | 65 | 22 | 8.37 | 3.32 | 0.96 | 0.716 | 0.411 | 0.194 |
| 19 | 20-oct | 19.2 | 14 | 11 | 10.35 | 1.01 | 0.60 | 0.102 | 0.033 | 0.018 |
| 20 | 24-oct | 4.9 | 14 | 9 | | 0.18 | 0.08 | 0.011 | 0.003 | 0.001 |
| | | | | | 1.55 | | | | | |
| 21 | 26-oct | 6.9 | 5 | 3 | | 0.07 | 0.03 | 0.024 | 0.011 | 0.007 |
| | | | | | 0.71 | | | | | |
| 22 | 12-nov | 18.8 | 36 | 30 | 10.94 | 3.16 | 1.31 | 0.199 | 0.094 | 0.029 |
| 23 | 29-nov | 11.1 | 10 | 5 | | 0.12 | 0.20 | 0.006 | 0.001 | 0.001 |
| | | | | | 2.04 | | | | | |
| TOTAL | | 144.4 | | | 62.58 | 19.58 | 10.40 | 2.986 | 2.060 | 1.335 |

I₅: intensidad máxima 5 minutos (mm h⁻¹); I₃₀: intensidad máxima 30 minutos (mm h⁻¹).

Minicuecas

En la foto 4 se aprecian las minicuecas trazadas transversalmente al eje longitudinal de la calle. Éstas se dispusieron a 1 m del lateral de riego y forman rec-

tángulos de 1 m de ancho por 2 m de largo. La escorrentía generada en el resto de la calle, que se mantiene inalterada, se almacena en la minicuenca hasta su infiltración. Este sistema de manejo es muy adecuado para mejorar el rendimiento aparente del agua, ya que

concentra la lluvia y favorece su infiltración allí donde se encuentra la máxima actividad radicular. El mayor inconveniente reside en el posible rebosamiento que origine una rotura en cadena.

Resultados y discusión

En una primera fase (enero-julio), además de comprobar el correcto funcionamiento de los equipos diseñados, se estimó la variación espacial de la escorrentía y pérdida de suelo, en las tres parcelas en no cultivo, tratamiento control (tabla 1). Se aprecia que la desviación típica, tanto de la escorrentía como del suelo erosionado, es baja.

Durante este período se registraron 12 eventos, con un total de 224 mm de lluvia, de los que 108 se recogieron de escorrentía. El hecho de que tan sólo un 50% del agua de lluvia se infiltrase, unido a la formación de escorrentía con lluvias de 4 ó 5 mm, da idea de la baja permeabilidad del suelo así manejado. El suelo erosionado, equivalente a 10 t ha⁻¹, no fue alto con relación al volumen de escorrentía (tabla 1).

En el segundo período, agosto-diciembre, con un manejo del suelo diferente en cada una de las tres parcelas, once episodios de lluvia totalizaron 144 mm (tabla 2). El comportamiento de los tratamientos frente a la escorrentía y erosión fue muy diferente y altamente dependiente del trabajo diferencial del suelo. La escorrentía recogida fue de 62.6, 19.6 y 10.4 mm en las parcelas control, de microahoyado y minicuecas, el 45, 14 y 7% de las precipitaciones, respectivamente (tabla 2). Sin embargo, aunque la pérdida de suelo fue menor en las parcelas de microahoyado y minicuecas que en la del control, las diferencias entre tratamientos fueron menores a las de escorrentía, consecuencia del mayor mullimiento de la capa superficial del suelo en éstas.

En una primera aproximación, se podría determinar el comportamiento medio del tratamiento del suelo frente a la escorrentía a partir del valor del número de curva Nc [9]. Aplicando este valor a una serie históri-

ca de 63 años se puede estimar la escorrentía media anual. De esta forma, bajo nuestras condiciones de cultivo, y para una precipitación media anual de 300 mm, el microahoyado mejoraría la infiltración en 70 mm año⁻¹ al control, mientras que las minicuecas lo harían en 85 mm año⁻¹ [2]. Las pérdidas de agua por evaporación desde suelo serían probablemente similares, mientras que por drenaje, presumiblemente mayores en minicuecas. Este incremento de infiltración equivaldría al 12.5% del agua aplicada para satisfacer las necesidades de albaricoqueros adultos [7]. Por lo tanto, esta lluvia efectiva, al disminuir las necesidades de riego, deberá ser tenida en cuenta en la programación del riego.

Bajo las condiciones experimentales la práctica del microahoyado, fácil de mecanizar, redujo la escorrentía a la tercera parte de la ocurrida bajo las prácticas seguidas por el agricultor. No obstante estos resultados deben ser validados bajo distintas condiciones de frecuencia e intensidad de lluvia y a partir de un mayor número de parcelas por tratamiento.

Bibliografía

- [1] Elías-Castillo, F. 1993. Precipitaciones máximas en España. Régimen de intensidad. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- [2] Ferreras, C. 1995. Precipitaciones y temperaturas en Murcia. Series históricas. Consejería de Agricultura Ganadería y Pesca. Comunidad Autónoma Región de Murcia.
- [3] Hudson, N. 1982. Conservación del Suelo (versión española de J.M. García Ruiz y J.P. Martínez Ruiz). Ed. Reverte, S.A. Barcelona.
- [4] Ortiz, R., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M. y Guillén, F. 1990. Estudio de la erosión hídrica en tierras agrícolas de la Región de Murcia. Agencia de Medio Ambiente. Murcia.
- [5] Pastor, M., Castro, J. y Humanes, M.D. 1996. Criterios para la elección del sistema de cultivo en el olivar. Serie Informaciones Técnicas 38/96. Conse-

- jería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- [6] Revilla, J. 1980. El "Alumbrado" para acumulación de agua en cultivos leñosos de secano. Hojas Divulgadoras 19/80. MAPA. Madrid.
- [7] Ruiz-Sánchez, M^a. C., Pérez-Pastor, A., Torrecillas, A. y Domingo, R. 1999. Regulated deficit irrigation in apricot trees. Third International Symposium: Irrigation of Horticultural Crops. Estoril. Portugal.
- [8] Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J. y Frevert, R.K. 1993. Soil and Water Conservation Engineering. Publicado por John Wiley and Sons, Inc. New York.
- [9] Wischmeier, W.W. y Smith D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning. USDA Handbook 537. GPO, Washington, DC.
- El presente trabajo se realizó al amparo de los proyectos CICYT HID96-1342-C04-03 y HID99-0951.

Influencia de las condiciones microclimáticas sobre las tasas de transpiración en albaricoquero

■ **Juan José Alarcón, Emilio Nicolás, Arturo Torrecillas**

Dpto. Riego y Salinidad. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). Murcia

■ **Rafael Domingo, Arturo Torrecillas**

Dpto. Producción Agraria. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA). Universidad Politécnica de Cartagena

La escasez de los recursos hídricos y las características climáticas de la Región de Murcia, convierten al agua, sin ningún género de dudas, en el factor más limitante de la productividad agrícola. En consecuencia, es claro que en zonas como Murcia, los agricultores, los técnicos, los investigadores y los organismos oficiales deben centrar sus esfuerzos en que a través de un uso cada vez más racional del agua, pueda reducirse dentro de los límites posibles el desequilibrio existente entre la demanda y los recursos hídricos, sin necesidad de recurrir a la poca deseable situación actual de sobreexplotación de acuíferos subterráneos, con el consiguiente deterioro progresivo de su calidad. De esta manera podría evitarse el colapso de las posibilidades de expansión de nuestros regadíos, manteniendo a la vez la competitividad de nuestras producciones.

Pero esta racionalización en el uso del agua no es posible sin el desarrollo de toda una serie de actividades en la que todos los agentes interesados tienen que implicarse. Es preciso una mejora de las infraestructuras hidráulicas que evite pérdidas de agua en la canalización y trasvase de los recursos hídricos, es preciso

una mejora en la formación de los agricultores y técnicos de cara a la optimización de los nuevos sistemas de regadío, y es necesario investigar en el conocimiento de las necesidades hídricas reales de las plantas, evitándose de este modo aportes de agua que no mejoran el rendimiento del cultivo.

En relación con este último aspecto, el conocimiento de las pérdidas de agua vía transpiración resulta imprescindible para poder ajustar las necesidades hídricas de los cultivos, y en consecuencia, contribuir a la optimización del uso del agua en la agricultura. En este sentido, la medida de las tasas de transpiración mediante el empleo de la técnica de compensación de pulso de calor ha cobrado, recientemente, una especial relevancia. Por esta razón, en la presente comunicación se recogen los resultados obtenidos en un ensayo sobre albaricoqueros “Búldida” adultos, en la que se pretendía calibrar las medidas de flujo de savia, por medio de la aplicación del pulso de calor compensatorio, con los niveles de transpiración total del árbol, y adicionalmente conocer la participación relativa de las diferentes ramas en las tasas de transpiración total.

Las necesidades hídricas de los cultivos tradicionalmente se han determinado por métodos de balance hídrico del suelo o por estimaciones mediante fórmulas empíricas del tipo Penman modificado [2]. Sin embargo, estas estimaciones de las necesidades hídricas plantean varios problemas, siendo el fundamental el hecho de no estar directamente relacionadas con el funcionamiento hídrico de las plantas [10]. Dado que la planta es integradora de todas las condiciones externas (clima, suelo, etc.), resulta por lo tanto evidente utilizarla como indicador (“Plant-Based-Measurements”), como sensor para detectar cuando necesita agua y evitar el estrés hídrico. La desventaja, de cara a la programación del riego, que plantea la utilización de los indicadores biológicos clásicos como el potencial hídrico foliar, la conductancia estomática o los parámetros de crecimiento es que requieren unos muestreos periódicos de difícil automatización. Sin embargo, en la actualidad se están desarrollando toda una serie de sistemas que permiten registros continuos de forma informatizada del estado hídrico de la planta, lo que favorece su utilización en la programación del riego automatizada. Entre estos novedosos sistemas destacan aquellos basados en la interacción entre la circulación de la savia bruta, ligada a la transpiración, y los transportes de calor a través de la madera. Estos métodos se han podido establecer aprovechando la gran capacidad calorífica que posee la savia en comparación a las del aire y de la madera húmeda, siendo ésta la base teórica del método de pulso de calor compensatorio que hemos utilizado en este ensayo.

La medida de la transpiración por medio del método del pulso de calor descrito por [5], es probablemente una de las técnicas más satisfactorias para poder medir flujo de savia en árboles. De hecho, esta técnica ha sido utilizada en numerosas especies con notables resultados, y así Green *et al.* [7] la han utilizado en manzano, Caspari *et al.* [3] en pera y Green y Clothier [6] en kiwi. El problema que surge al utilizarla en un nuevo cultivo, como es el caso del albaricoquero, es

que hay que realizar una calibración del método para la especie que nos ocupa, ya que la relación entre la transpiración real y las estimas de flujo de savia pueden verse afectadas por la naturaleza del genotipo estudiado [11].

Cuando trabajamos con árboles jóvenes que pueden crecer en maceta, la tasa de transpiración se puede medir fácilmente de forma gravimétrica [1] y la calibración del método es relativamente sencilla. Pero cuando se pretende realizar la calibración en campo y sobre árboles adultos esta tarea plantea numerosos problemas, ya que en estas condiciones es difícil medir con precisión la tasa de transpiración de un árbol [9]. Una solución sería el trabajar con un árbol situado en un lisímetro de pesada, pero disponer de árboles en estas condiciones no es frecuente, y plantearse colocar un árbol joven en un lisímetro y esperar que alcance el tamaño adulto para poder controlar su transpiración es una tarea costosa tanto desde un punto de vista económico como temporal. Otra forma de abordar el problema, descrita por Fernández *et al.* [4], sería el cortar un árbol adulto por una zona del tronco próxima al suelo, y colocar esta sección rápidamente en una cubeta de agua, de tal modo que se pudiese hacer un seguimiento de la cantidad de agua absorbida por el árbol cortado durante un período más o menos prolongado de tiempo. Fernández *et al.* [4], realizaron esta experiencia sobre olivos adultos, y a pesar de tomar numerosas precauciones para evitar problemas de cavitación o degeneración de los vasos xilemáticos, el sistema sólo pudo mantenerse de modo artificial durante dos días, y probablemente con unas tasas de absorción de agua muy diferentes a las que presenta un árbol en condiciones naturales.

Ante esta situación, nosotros propusimos otra forma de calibración basada en la medida de la transpiración por medio de un estudio del balance hídrico del suelo, en donde controlando las variaciones de humedad en la zona radical, y evitando modificaciones importantes en otras variables del balance como la escorrentía, el drenaje, las precipi-

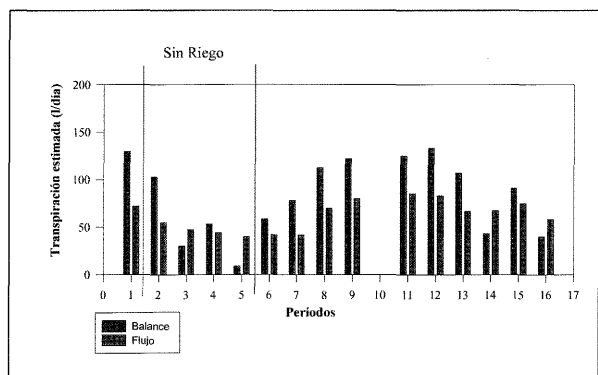


Figura 1. Estimaciones de transpiración obtenidas por los métodos de balance hídrico del suelo y por flujo de savia durante los diferentes periodos de riego.

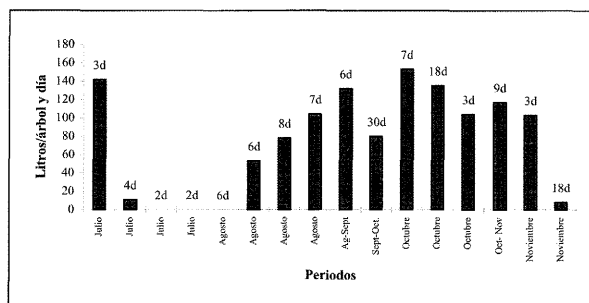


Figura 2. Volúmenes de agua aplicados en el periodo del 20 de julio al 29 de Noviembre. Los números que hay sobre cada histograma indican el número de días englobados en el período considerado.

taciones o la evaporación, pudiésemos tener una idea precisa del nivel de agua perdida por el árbol en unas condiciones naturales, sin ningún tipo de manipulación que afectase a su funcionamiento fisiológico habitual.

El experimento de comparación de las estimas de transpiración obtenidas por flujo de savia (CPC) y balance hídrico se realizó en el verano-otoño de 1998 en una finca experimental de albaricoquero Búvida, situada en el término municipal de Mula. Para el desarrollo de la experiencia fue delimitado el 30% del marco de plantación de un árbol con láminas de chapa y plástico al objeto de concentrar y aislar su sistema radical. Una vez instaladas las planchas metálicas se procedió al tapado de la zona con un plástico, con el fin de evitar la entrada de agua por medio de la escorrentía o la precipitación y la salida de agua por medio de la evaporación.

El balance hídrico del suelo se realizó transformando mediante la curva de calibrado de la sonda, los datos obtenidos con la sonda de neutrones en contenido volumétrico de agua en el suelo (qv) expresado en porcentaje de humedad. La tasa de transpiración del árbol a partir del estudio del balance hídrico del suelo se calculó comparando los niveles de agua existentes a lo largo de muestreos consecutivos, considerando los aportes de agua realizados mediante el riego durante este período de tiempo, y asumiendo que el resto de los

componentes del balance hídrico (escorrentía, precipitaciones, drenaje y evaporación) eran despreciables debido a la colocación de las láminas de metal alrededor del árbol y el plástico que cubría toda la zona de ensayo.

Las medidas de flujo de savia se iniciaron en junio, mediante la aplicación de 2 equipos distintos que registraban cada 30 minutos en un datalogger la cantidad de agua transpirada durante los períodos transcurridos entre los muestreos realizados con la sonda de neutrones, de tal modo que se pudiesen comparar las estimas de transpiración obtenidas a partir del flujo de savia con aquellas obtenidas por medio del balance hídrico del suelo. Desde el 23 de julio de 1998 hasta el 30 de noviembre se realizaron 18 muestreos con la sonda de neutrones, controlándose por tanto 16 períodos de diferente tamaño en cuanto al número de días.

La comparación de las estimas de transpiración obtenidas por ambos métodos, una vez normalizados los datos en función de litros transpirados en un sólo día, queda reflejada en la figura 1. En ella, se puede observar que la conducta para ambas estimas fue dependiente del régimen de riego impuesto (figura 2), observándose una disminución de la transpiración durante el periodo de ausencia de riego (periodos 2, 3, 4 y 5) y un aumento conforme se va restableciendo el riego (periodos 6, 7 y 8). Esto es lo que cabe esperar de un árbol estresado hídricamente, en donde los niveles de transpiración vienen modulados por las condiciones

climáticas pero limitados por la cantidad de agua en el suelo.

La regresión de la transpiración (litros/periodo) vía flujo de savia (FS) respecto a la obtenida por balance hídrico (BH) presentó un coeficiente de determinación $r^2 = 0,79$, y respondió a una función del tipo: $FS = -13,01 + 0,82 BH$. Entendemos que tanto la pendiente de correlación (0.86) como el coeficiente de determinación (altamente significativo) validan las medidas de flujo de savia por medio del método de pulso de calor como una técnica adecuada para estimar los niveles de transpiración de albaricoqueros adultos. También se podría concluir que el sistema de calibración utilizado en esta experiencia, a pesar del alto nivel de incertidumbres que plantea debido a la dificultad de controlar de manera precisa numerosas variables que intervienen en el balance hídrico del suelo, funciona siempre y cuando se tomen toda una serie de precauciones tendentes fundamentalmente a evitar el drenaje, la evaporación, la escorrentía y las precipitaciones. Es preciso, sin embargo, reseñar que algunas otras variables como la distribución homogénea del agua dentro del área de estudio, o la seguridad de que todo el sistema radical activo se encuentra dentro de nuestra parcela de ensayo, son mucho más difíciles de controlar, siendo probablemente estos aspectos los responsables de que la recta de correlación entre ambos tipos de estimas no sea todavía más satisfactoria.

Una vez, que el método de pulso de calor compensatorio quedó debidamente calibrado, nos planteamos la colocación de los sensores de flujo de savia en diferentes localizaciones del árbol. Este tipo de experiencias son útiles no sólo para conocer la tasa global de transpiración de un determinado cultivo, sino también para conocer la arquitectura hidráulica del sistema vegetal y estimar la participación parcial de las diferentes zonas de la canopia en el nivel de transpiración.

Con este objetivo, planteamos un ensayo en donde los sensores de flujo de savia fueron colocados en ramas diferentes de un árbol adulto de albaricoquero.

El individuo elegido fue el mismo sobre el que se

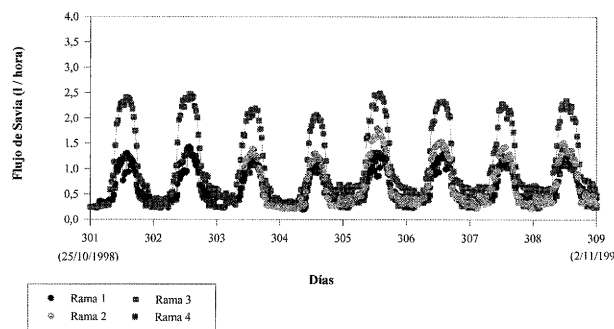


Figura 3. Evolución del flujo de savia en litros/hora en cada una de las ramas en el periodo del 25 de octubre al 2 de noviembre.

realizó el balance hídrico de suelo, esto es, un árbol de tronco cilíndrico bifurcado en 4 ramas principales a la altura de 0,55 m. Se colocaron cuatro equipos de medidas de flujo de savia, uno en cada rama del árbol, de tal modo que de esta forma conseguimos conocer la tasa de transpiración global del árbol y la participación relativa de cada una de las ramas.

Se trataba de ramas de diferente diámetro y con orientaciones distintas, así la rama orientada hacia el Noroeste tenía un diámetro en su zona basal de 12,7 cm, la rama orientada hacia el Noreste tenía un diámetro de 10,9 cm, la rama orientada hacia el Sureste tenía un diámetro de 14,4 cm y la rama orientada hacia el Suroeste tenía un diámetro de 11,5 cm. A partir de ahora la rama Noroeste será referenciada como rama 1, la Noreste como rama 2, la Sureste como rama 3 y la Suroeste como rama 4.

En la figura 3 se recogen los registros de flujo de savia obtenidos en cada una de las ramas entre los días 301 y 309, que corresponden al período de tiempo comprendidos entre el día 25 de octubre y el día 2 de noviembre. Aún cuando en todas las ramas se alcanzaron los valores máximos de flujo de savia al mediodía, coincidiendo con el comportamiento global del árbol, se adivina que estos valores variaron de una forma importante en función de la rama escogida. En la rama 3 se alcanzaron valores máximos de flujo de savia próximos a 2.5 litros/hora, mientras que en las otras tres ramas dichos valores oscilaron entre 1 y 1.5 litros/hora.

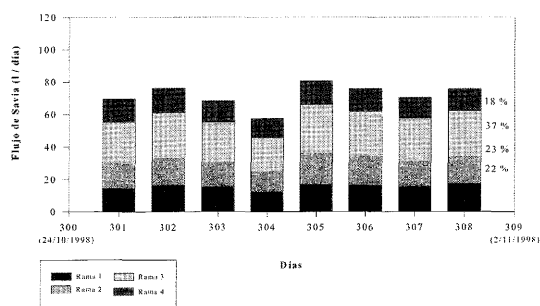


Figura 4. Contribución al flujo diario total de cada una de las ramas en el periodo del 25 de octubre al 2 de noviembre.

Una vez integrados los datos de flujo de savia a lo largo del día, observamos que independientemente del día escogido, la contribución al flujo diario total de la rama 1 era aproximadamente del 22%, la de la rama 2 era del orden del 23%, la de la rama 3 del 37% y la de la rama 4 tan sólo del 18% (figura 4).

Nos planteamos la razón de esta diferente contribución a la tasa de transpiración total, entendiendo que uno de los factores fundamentales que podría explicar este diferente comportamiento entre ramas podría ser la diferencia de área foliar de cada una de ellas. De hecho, el diferente diámetro de las ramas nos hizo suponer que también podrían existir diferencias en las copias, y una vez conocidas las áreas foliares pudimos ver que efectivamente existía una relación bastante estrecha entre el diámetro basal de la rama y su área foliar total. Así, la rama 1 tenía un área foliar de 50.46 m², la rama 2 un área de 39.81 m², el área foliar de la rama 3 era de 55.59 m² y el de la rama 4 era de 43.54 m². Las estimas de área foliar se realizaron al final del ensayo por medio de la recogida manual de todas las hojas presentes en el árbol y la medida individual de cada una de ellas por medio de un analizador de imagen Area-meter DeltaT-Device.

Los valores de litros/día recogidos en cada una de las ramas fueron normalizados teniendo en cuenta el área foliar de cada una de ellas, pero aún así seguimos encontrando diferencias en los niveles de transpiración, de tal modo que la rama 3 seguía transpirando más que la rama 2 y ésta a su vez más que las ramas 1 y 4.

Descartado el área foliar como única explicación posible de los diferentes niveles transpirativos de las ramas, nos planteamos que probablemente las diferencias climatológicas en las distintas partes del árbol podrían originar este fenómeno de variabilidad transpirativa entre ramas. La influencia de las condiciones microclimáticas sobre la situación hídrica de las plantas ha sido puesta de manifiesto en numerosos trabajos [8].

La influencia de las condiciones microclimáticas sobre el comportamiento diferenciado de órganos o zonas distintas de la planta, será tanto mayor cuanto más grande sea la planta, y así un árbol adulto de albaricoquero, recibirá diferentes niveles de radiación en cada una de sus ramas en función del grado de altitud y latitud que dicho árbol presente, y en función del momento del día.

En nuestro caso concreto, realizamos una evolución diaria de cual era esta diferente distribución de luz en las distintas ramas en función de la orientación de las mismas. Para ello, el día 30 de octubre se realizó un barrido cada 2 horas, por medio de un sensor de radiación fotosintéticamente activa, de la situación luminosa en cada una de las ramas. El barrido se realizó tomando medidas al azar, teniendo buen cuidado de que estas medidas reflejaran tanto la radiación que llegaba a las hojas más superficiales como a las más profundas de la copa, y tanto en las partes más altas del árbol como en aquellas zonas intermedias y bajas.

Una vez tomadas las muestras al azar lo que hicimos fue calcular la media de los datos recogidos en cada momento y rama, obteniendo con ello un valor global que nos permitía conocer la variación a lo largo del día de la radiación solar alcanzada en cada una de las zonas del árbol. Los resultados obtenidos permitieron observar que en la rama 1, orientada hacia el Noroeste, la radiación global recibida a lo largo del día fue muy baja, no alcanzando ni siquiera al mediodía valores superiores a los 200 mmol m⁻² seg⁻¹. En las ramas 2 y 3, que como recordamos se encontraban orientadas

hacia el Este, la evolución de la radiación a lo largo del día fue muy similar, produciéndose un rápido incremento a partir de las 6.00 de la mañana que alcanza su punto máximo cercano a los 1.000 mmol m⁻² seg⁻¹ a las 12.00 del mediodía, momento a partir del cual comienza a disminuir nuevamente el nivel de radiación recibido. En la rama 4 también se alcanza un máximo próximo a los 1.000 mmol m⁻² seg⁻¹, pero en este caso el valor máximo se alcanzó en torno a las 16.00 horas, comenzando la rama a recibir luz a partir de las 12.00.

Para saber hasta qué punto los niveles de transpiración estaban en función del nivel de radiación recibida, realizamos correlaciones simples entre la transpiración, estimada como las medidas de flujo de savia normalizadas en función del área foliar de cada rama, y la radiación en cada una de las ramas a lo largo de la evolución diaria. Se observó que la correlación con un coeficiente de determinación más alto correspondía a una ecuación del tipo ($y = x / 16.37 x + 761.46$), siendo “y” los niveles de transpiración y “x” los niveles de radiación.

Al aplicar esta ecuación a los datos microclimáticos obtenidos en el mismo árbol, pero durante un ciclo diario distinto, obtuvimos una estima de los flujos transpiratorios muy similares a las medidas de transpiración estimadas por medio del flujo de savia, deduciéndose que estas diferencias microclimáticas podían explicar el diferente comportamiento transpiratorio de las ramas independientemente del tamaño o área foliar de cada una de ellas.

Bibliografía

- (1) Alarcón, J.J., Domingo, R., Sánchez-Blanco, M.J., Rodríguez, P., Torrecillas, A. 1999. Sap flow measurements as an indicator of transpiration in young apricot trees. *Irrig. Sci.*, (En prensa).
- (2) Burman, R. Y Pochop, L.O. 1994. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. *Development in Atmospheric Science*, 22.
- (3) Caspari, H.W., Green, S.R., Edwards, W.R.N. 1993. Transpiration of well-watered and water-stressed Asian pear trees as determined by lysimetry, heat-pulse, and estimated by Penman-Monteith model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 67: 13-27.
- (4) Fernández, J.E., Palomo, M.J., Díaz-Espejo, A. y Girón, I.F. 1997. Calibrating the compensation heat-pulse technique for measuring sap flow in olive. *Third Int. Symposium on olive growing Creta Sept. 22-26, 1997*.
- (5) Green, S.R. y Clothier, B.E. 1988. Water Use of Kiwifruit Vines and Apple Trees by the Heat-Pulse Technique. *Journal Experimental Botany*, vol 39 n° 198, pp. 115-123.
- (6) Green, S.R. y Clothier, B.E. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant and Soil* 173: 317-328.
- (7) Green, S.R., McNaughton, K.G. y Clothier, B.E. 1989. Observations of night-time water use in kiwifruit vines and apple trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 48: 251-261.
- (8) Jones, H.G. 1983. *Plants and microclimate*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K.
- (9) Khan, A.H. y Ong, C.K. 1995. Correction of listematic errors in estimates of transpiration obtained using a constant temperature heat balance technique. *Experimental Agricola*. Vol 31, pp. 461-472.
- (10) McCutchan, H. y Shackel, K.A. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal American Society of Horticultural Science* 117 (4): 607-611.
- (11) Swanson, R.H. y Whitfield, D.W.A. 1981. A numerical Analysis of Heat Pulse Velocity Theory and Practice. *Journal Experimental Botany*, 32, 221-239.

Distribución de cultivos y consumos de agua en la zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín

■ *J.A. García; P. Melgarejo; J.J. Martínez; R. Martínez-Font*

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología

Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández)

Resumen

El Valle del Guadalentín, en la Cuenca del río Segura, se extiende longitudinalmente desde la ciudad de Alcantarilla hasta la de Lorca en la provincia de Murcia, pasando por las villas de Librilla, Alhama de Murcia y Totana, por el cual transcurre el río que da nombre al mencionado valle. La zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín está definida en el Decreto (1.533/1975, de junio de 1975); ésta se dividió para conseguir un mejor funcionamiento del suministro de agua para riego en ocho sectores con independencia hidráulica. Cada uno de estos sectores forman las llamadas Comunidades de Regantes (C.R.), integradas por uno o más sectores, así están: la C.R. de Sangonera-Alcantarilla (2.670 ha), la C.R. de Librilla (2.678 ha), la C.R. de Alhama de Murcia (3.729 ha), la C.R. de Totana (5.748 ha) y la C.R. de Lorca (12.990 ha).

Se ha analizado la distribución de cultivos en cada C.R., calculándose el consumo de agua por ha en cada una de ellas.

Introducción

La economía de Murcia se caracteriza por su importante vocación agraria y agroalimentaria, siendo ya tradicional y conocida la potencialidad de su agricultura. Sin embargo, la escasez de agua conlleva problemas, como consecuencia del desequilibrio entre los recursos disponibles y las demandas de agua para usos agrícolas, de abastecimiento urbano e industrial y más recientemente para usos medio ambientales (6).

El interés por incrementar las tierras de regadío (mucho más productivas que las de secano), no es sólo de unos pocos años atrás, sino que ya existía durante el reinado de Carlos I (1516-1556) (4).

Esta demanda de tierras de regadío será paliada en parte por la aparición de motobombas y motores para la extracción de aguas subterráneas, pero ésta revolución de la hidráulica no será suficiente para suplir la creciente demanda de agua de estas tierras (5). Era necesaria la regulación de la Cuenca del Segura; así se construyeron los Embalses de Puentes y Valdeinfierno (los más antiguos de la Cuenca), éstos protegerían a la

ciudad de Lorca contra las crecidas que podía sufrir el río Guadalentín, y además procuraban recursos hídricos (escasos) para el regadío tradicional de Lorca. Más tarde se construyeron en la cabecera del Segura los Embalses de Camarillas (35 hm³) y Cenajo (472 hm³).

Esta regulación de las tierras de regadío para la Cuenca del Segura no fue suficiente y más aún cuando se sufre un periodo de sequía, como consecuencia de esto se produjo la vuelta a la política de las explotaciones de aguas subterráneas, importante en algunos puntos como el Valle del Guadalentín y Lorca; con estas explotaciones se redotaron los regadíos existentes y se transformaron otros, pero la sobreexplotación de estos acuíferos era insostenible (5).

Esta situación motivó al Gobierno a tomar la decisión de trasvasar agua desde el Tajo al Segura. La obra mencionada, el Trasvase Tajo-Segura, hoy en día en funcionamiento, dota de agua, a través del Canal Margen Derecha, a la zona de Lorca-Valle del Guadalentín.

En el presente estudio, se indica la distribución de cultivos y consumo de agua en la zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín.

Descripción de la zona regable del río Guadalentín

La zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín queda delimitada en el Decreto (1.533/1975 de junio de 1975), que aprobó el Plan General de Transformación en Regadío, del modo siguiente:

“Línea cerrada y continua que parte de la intersección de la curva de nivel de 140 m con la carretera de Alcantarilla a Fuentes de Librilla. Sigue por la curva de nivel de 140 m hasta el límite de los términos municipales de Murcia y Librilla por donde continua hasta la cota 180 m, poligonal que discurre hasta la rambla de Algeciras. Continúa luego por esta rambla hasta el Canal Principal de la Margen Derecha y sigue por el mismo hasta su cruce con la carretera de Murcia a Puerto Lumbreras, para seguir por dicha carretera hasta la cota 340 m y por esta curva de nivel

de 340 m hasta la rambla de los Murcianos. Prosigue por el canal de riego de Velopache y la rambla de la Viznaga hasta el río Guadalentín, y continua por el límite de los riegos tradicionales de la Vega Media del Segura y desde este y la carretera de Alcantarilla a Fuentes de Librilla hasta su intersección con la cota 140 m que sirvió de punto de partida”. (3).

La extensión delimitada como se ha descrito anteriormente tiene una superficie aproximada según el Plan General de Transformación en Regadío para esta zona de 35.840 ha de las que se consideran factibles de riego 25.320 ha (3).

La zona descrita para facilitar las actuaciones para su transformación en regadío, fue dividida en 8 sectores con independencia hidráulica y cuyas superficies en el Decreto que aprobaba el Plan General de Regadío de Lorca-Guadalentín, es la que se presenta en la Tabla 1.

Vemos, de la descripción anterior, que el porcentaje de superficie útil de riego en el Decreto, sobre la delimitada es del 70,64%, porcentaje que da un avance de la disparidad topográfica, la cual va a incidir en cierta medida en los enfoques culturales para cada zona así como para las necesidades de riego de estas.

Áreas de riego que integran la zona regable del río Guadalentín

Los sectores indicados anteriormente, al ser independientes hidráulicamente, forman unidades hidráulicas que son llamadas Comunidades de Riego, estas Comunidades pueden estar constituidos por un sector o por varios.

Seguidamente se muestran las Comunidades de riego que forman la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín, así como las superficies declaradas en el Decreto (1.533/1975) y las declaradas en el Plan Coordinado.

Las Comunidades de Riego que amplían superficie son las de: Sangonera, Librilla y Totana, que aumentan la superficie de riego en 270,8 y 858 ha, respectiva-

mente. La Comunidad de Riego que disminuye superficie es la de Alhama de Murcia, con una reducción de 311 ha y Lorca que se queda igual. Se resume la información en la Tabla 2.

Se observa un aumento de superficie útil de riego en la zona del Valle del Guadalentín y Lorca de 825 ha, lo que supone un incremento del 3,25% con respecto a la declarada en el Decreto (1.553/1975) en su Plan General de Transformación en Regadío, como consecuencia de estudios Coordinados posteriores en dicha zona.

También decir, que dentro de las Unidades Hidráulicas delimitadas existen áreas de riego que cuentan con servicio de aguas del río Segura, aguas de pozos, aguas residuales y tomas del río Guadalentín.

Distribución de cultivos en la comarca del Guadalentín

El clima de esta comarca permite cultivar lo que demandan los mercados internacionales, continuamente cambiantes, por lo que los cultivos también varían; por ello resulta difícil hacer una distribución totalmente exacta y fiable, aún teniendo datos estadísticos de la Conserjería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Esto ocurre sobre todo para los cultivos herbáceos, que en su mayoría son anuales, por lo que de un año para otro pueden variar considerablemente, según las demandas del mercado.

La zona del estudio se encuentra incluida mayoritariamente dentro de los municipios de Lorca, Totana, Alhama de Murcia y Librilla; existe otra porción de esta, que estaría incluida entre los términos municipales de Murcia y Alcantarilla, que es la Comunidad de riego de Alcantarilla-Sangonera (sector 1).

Una vez realizadas estas consideraciones se presentan las Tablas 3, 4 y 5 en las que aparecen las distintas superficies de cultivo para cada municipio, la primera tabla se utiliza para los cultivos herbáceos y la segunda para los leñosos. En la Tabla 5 se muestra la

superficie de cultivos herbáceos y leñosos para la zona de Alcantarilla-Sangonera.

Consumos de agua suministrada por la Confederación Hidrográfica del Segura

El suministro de agua para riego en la zona regable del Valle del Guadalentín y Lorca procede del Traspase Tajo-Segura, Cuenca del Segura, Regadío Propio (Embalse de Puentes) y Pozos de propiedad privada.

En las Tablas 6, 7, 8, 9 y 10 se resumen los consumos de agua suministrados por la Confederación Hidrográfica del Segura por Comunidades de Riego, para el periodo de tiempo 1991-97, en estas tablas resumen se muestra el consumo total para cada año, así como el consumo máximo y mínimo por meses del año considerado.

Comunidad de Riego de Sangonera-Alcantarilla

Con los datos de la Tabla 6 vemos que el consumo total del periodo (1991-1997) proveniente del Traspase Tajo-Segura es de 10.035.911 m³, con una media del periodo de 1.433.702 m³; así mismo el consumo total del periodo proveniente de la Cuenca del Segura es de 14.131.698 m³, con una media del periodo de 2.018.814 m³. Por tanto, el consumo total del periodo con las dos fuentes de suministro será de 24.167.609 m³, con una media total del periodo de 3.452.516 m³. También decir que el año que más agua recibió, contando las dos fuentes, fue 1996 con 5.973.650 m³ y el que menos 1994 con 1.079.774 m³.

Comunidad de riego de Librilla

En la Tabla 7 podemos ver que el consumo total del periodo (1991-1997) es de 28.292.062 m³ y una media para este periodo de 4.041.723 m³. El año que más agua recibió fue 1996 como se puede apreciar, con un total de 10.840.178 m³ y el año que menos recibió fue 1992 con 1.795.352 m³.

Comunidad de riego de Alhama de Murcia

Con los datos de la Tabla 8, se aprecia que el consumo total del periodo (1991-1997) proveniente del Trasvase Tajo-Segura es de 30.139.127 m³, con una media del periodo de 4.305.590 m³; así mismo el consumo total del periodo proveniente de la Cuenca del Segura es de 7.352.615 m³, con una media del periodo de 1.050.374 m³. Por tanto el consumo total del periodo, con las dos fuentes de suministro será de 37.491.742 m³, con una media total del periodo de 5.355.964 m³. El año que más agua recibió contando las dos fuentes fue 1996 con 12.816.307 m³ y el que menos 1994 con 1.481.265 m³.

Comunidad de riego de Totana

Con los datos de la Tabla 9 vemos que el consumo total del periodo (1991-1997) es de 34.250.271 m³ y una media para este periodo de 4.892.896 m³. El año que más agua recibió fue 1996 con un total de 12.796.945 m³ y el año que menos recibió fue 1994 con 1.480.270 m³.

Comunidad de riego de Lorca

Con los datos de la Tabla 10 podemos ver que el consumo total del periodo (1991-1997) proveniente del Trasvase Tajo-Segura es de 60.587.358 m³, con una media del periodo de 8.655.337 m³; así mismo el consumo total del periodo, proveniente de la Cuenca

del Segura es de 4.800.000 m³, con una media del periodo de 685.714 m³. Por tanto, el consumo total del periodo con las dos fuentes de suministro, será de 65.387.358 m³, con una media total del periodo de 9.341.051 m³. El año que más agua recibió contando las dos fuentes fue 1996 con 23.960.323 m³ y el que menos 1994 con 2.861.398 m³.

Bibliografía

- (1) Anónimo 1. 1998. Confederación Hidrográfica del Segura: Área de Gestión Tajo-Segura y Área de Planificación Hidrológica (Comisaría de Aguas). Murcia.
- (2) Anuario de Estadística Agraria de la Región de Murcia. 1996. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente.
- (3) Castañón, G.; Sandoval, J. y Soriano, J. 1989. El Trasvase Tajo-Segura, solución al desequilibrio hidrológico. Ediciones Nuevos Enfoques. Madrid. 167 pp.
- (4) Egea, J. 1995. "Sobre la defensa del agua en Murcia". En Agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 49-59 pp.
- (5) Pérez Picazo, M^a. 1995. "Introducción histórica". En Agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 13-41 pp.
- (6) Senent, M. 1995. "Recursos hídricos subterráneos". En Agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 105-129 pp.

Tabla 1
Sectores de riego para la zona de Lorca y Valle del Guadalentín

| Sector | Superficie total (ha) | Superficie útil (ha) |
|--------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 2.800 | 2.400 |
| 2 | 2.730 | 2.670 |
| 3 | 3.780 | 1.540 |
| 4 | 6.150 | 2.500 |
| 5 | 3.780 | 1.910 |
| 6 | 4.420 | 2.980 |
| 7 | 3.600 | 3.290 |
| 8 | 8.580 | 8.030 |
| Total | 35.840 | 25.320 |

Fuente: Castañón *et al.* (1989).

Tabla 2
Superficies útiles de riego para las distintas Comunidades de Riego

| Comunidad de Riego | Superficie útil según Decreto (ha) | Superficie útil según Plan Coordinado (ha) | Aumento o disminución de superficie (ha) |
|--------------------|------------------------------------|--|--|
| Sagonera | 2.400 | 2.670 | 270 |
| Librilla | 2.670 | 2.678 | 8 |
| Alhama | 4.040 | 3.729 | -311 |
| Totana | 4.890 | 5.748 | 858 |
| Lorca | 11.320 | 11.320 | - |
| Total | 25.320 | 26.145 | 825 |

Fuente: Castañón *et al.*, (1898) y Anónimo 1 (1998).

Tabla 3
Superficies que ocupan los cultivos herbáceos en la zona del Guadalentín

| Herbáceos | Librilla (ha) | Alhama (ha) | Totana (ha) | Lorca (ha) | Total (ha) |
|-----------------|---------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Alfalfa | | 110 | 270 | 295 | 675 |
| Cebolla | | 100 | 160 | 380 | 640 |
| Patata | 2 | 20 | 10 | 135 | 167 |
| Algodón | | 200 | 41 | 625 | 866 |
| Pimiento | | 200 | 400 | 125 | 725 |
| Lechuga | | 100 | 100 | 2.850 | 3.050 |
| Melón | | 100 | 25 | 460 | 585 |
| Tomate | 2 | 5 | 15 | 510 | 532 |
| Alcachofa | 5 | 20 | 428 | 3.380 | 3.833 |
| Coliflor | | - | - | 250 | 250 |
| Bróculi | | 70 | 500 | 900 | 1.470 |
| Haba verde | 1 | 25 | 12 | - | 38 |
| Cereales | 11 | 215 | 400 | 1.300 | 1.926 |
| Total herbáceos | 21 | 1.165 | 2.361 | 11.210 | 14.757 |

Fuente: Anuario de Estadística Agraria de la Región de Murcia (1996).

Tabla 4
Superficies que ocupan los cultivos leñosos, en la zona del Guadalentín

| C. Leñosos | Librilla (ha) | Alhama (ha) | Totana (ha) | Lorca (ha) | Total (ha) |
|---------------|---------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Naranja | 378 | 900 | 307 | 250 | 1.835 |
| Mandarino | 39 | 330 | 82 | 39 | 490 |
| Limonero | 1.975 | 862 | 99 | 43 | 2.979 |
| Total agrios | 2.392 | 2.092 | 488 | 332 | 5.304 |
| Albaricoquero | | 1 | 3 | 50 | 54 |
| Melocotonero | 15 | 470 | 23 | 317 | 825 |
| Ciruelo | 4 | 100 | 5 | 33 | 142 |
| Granado | 1 | 168 | 8 | 9 | 186 |
| Almendra | 348 | 408 | 500 | 920 | 2.176 |
| Uva de mesa | 16 | 1.300 | 1.000 | 40 | 2.356 |
| Otros | 50 | 250 | 132 | 320 | 752 |
| Total leñosos | 2.826 | 4.789 | 2.159 | 2.021 | 11.795 |
| Total has | 2.847 | 5.954 | 4.520 | 13.231 | 26.552 |

Fuente: Anuario de Estadística Agraria de la Región de Murcia (1996).

Tabla 5
Superficies de cultivo para la zona de Alcantarilla-Sangonera

| Comunidad de riego de Alcantarilla-Sangonera | | | |
|--|-----------------|------------------|-----------------|
| Cultivos Herbáceos | Superficie (ha) | Cultivos Leñosos | Superficie (ha) |
| Alfalfa | 73 | Naranja | 240 |
| Lechuga | 83 | Limonero | 1.695 |
| Patata | 30 | Almendra | 116 |
| Cereales | 85 | Melocotonero | 110 |
| - | - | Ciruelo | 17 |
| - | - | Uva de mesa | 109 |
| Total | 271 | Total | 2.287 |

Fuente: Elaboración propia.1998.

Tabla 6
Volúmenes de las aguas suministradas por el Trasvase Tajo-Segura

| Años | Trasvase Tajo-Segura. Consumo. (m³) | | | Cuenca río Segura. Consumo. (m³) | | | Total (m³) |
|-------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------------------------|------------------|----------------|------------|
| | Anual. | Max.(Mes) | Min. (Mes) | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) | |
| 1991 | 970.755 | 324.108 (Feb.) | 61.032 (Jul.) | 3.889.797 | 1.137.318 (Jul.) | 144.360 (Jun.) | 4.860.552 |
| 1992 | 819.818 | 545.171 (Jun.) | 28.369 (Jul.) | 2.042.747 | 1.108.228 (Jul.) | 245.479 (Sep.) | 2.862.565 |
| 1993 | 1.310.257 | 416.175 (Ago.) | 179.000 (Mar.) | 1.109.041 | 660.694 (May.) | 448.347 (Ago.) | 2.419.298 |
| 1994 | 644.427 | 293.677 (Sep.) | 98.401 (Oct.) | 435.347 | 252.244 (May.) | 183.103 (Sep.) | 1.079.774 |
| 1995 | 3.343.531 | 843.300 (Jun.) | 29.790 (Feb.) | 2.051.019 | 831.000 (Jul.) | 389.019 (Sep.) | 5.394.550 |
| 1996 | 1.658.596 | 677.530 (Mar.) | 93.240 (Dic.) | 4.315.054 | 1.118.694 (Sep.) | 310.470 (Abr.) | 5.973.650 |
| 1997 | 1.288.527 | 382.680 (Nov.) | 55.530 (Oct.) | 288.693 | 288.693 (Mar.) | - | 1.577.220 |
| Total | 10.035.911 | | | 14.131.698 | | | 24.167.609 |

Fuente: Anónimo 1 (Confederación Hidrográfica del Segura). 1998.

Tabla 7
Volúmenes de agua suministrados por el Trasvase Tajo-Segura

| Trasvase Tajo-Segura. Consumo (m³). | | | |
|-------------------------------------|------------|------------------|----------------|
| Año | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) |
| 1991 | 3.647.224 | 1.514.400 (Jul.) | 107.784 (Nov.) |
| 1992 | 1.795.352 | 571.694 (Jul.) | 171.936 (Ago) |
| 1993 | 2.292.348 | 803.132 (Ago.) | 175.488 (Feb.) |
| 1994 | 625.622 | 429.328 (Sep.) | 196.294 (Ene.) |
| 1995 | 6.099.742 | 1.224.926 (Abr.) | 205.302 (Ene.) |
| 1996 | 10.840.178 | 2.264.440 (Sep.) | 258.610 (Dic.) |
| 1997 | 2.991.596 | 936.700 (Mar.) | 24.820 (Oct.) |
| Totales | 28.292.062 | 7.744.620 | 1.140.234 |
| Medias | 4.041.723 | 1.106.374 | 162.890 |

Fuente: Anónimo 1 (Confederación Hidrográfica del Segura). 1998.

Tabla 8
Volúmenes de las aguas suministradas por el Trasvase Tajo-Segura

| Años | Trasvase Tajo-Segura. Consumo (m³) | | | Cuenca río Segura. Consumo (m³) | | | Total (m³) |
|------|------------------------------------|------------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------------|------------|
| | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) | |
| 1991 | 4.215.534 | 1.666.284 (Jul.) | 171.147 (Abr.) | 1.475.000 | 400.000 (Ago.) | 200.000 (Abr.) | 5.690.534 |
| 1992 | 1.804.901 | 666.478 (Jul.) | 64.544 (Sep.) | 952.285 | 398.930 (Jul.) | 154.425 (Sep.) | 2.757.186 |
| 1993 | 2.680.616 | 1.190.110 (Ago.) | 172.000 (May.) | 510.150 | 356.150 (Jun.) | 154.000 (Ago.) | 3.190.766 |
| 1994 | 1.204.065 | 583.638 (Sep.) | 151.373 (Ene.) | 277.200 | 277.200 (Sep.) | - | 1.481.265 |
| 1995 | 6.905.828 | 1.539.740 (Jul.) | 41.411 (Nov.) | 1.500.860 | 633.620 (Abr.) | 433.620 (Jul., Sep.) | 8.406.688 |
| 1996 | 10.464.307 | 2.147.000 (Jul.) | 230.390 (Feb.) | 2.352.000 | 692.000 (Ago.) | 92.000 (Jul.) | 12.812.307 |
| 1997 | 2.863.876 | 910.880 (Mar.) | 114.858 (Oct.) | 285.120 | 285.120 (Mar.) | - | 3.148.996 |

Fuente: Anónimo 1 (Confederación Hidrográfica del Segura). 1998.

Tabla 9
Volúmenes totales de las aguas suministradas por el Trasvase Tajo-Segura

| Trasvase Tajo-Segura. Consumo (m³). | | | |
|-------------------------------------|------------|--------------------|------------------|
| Año | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) |
| 1991 | 4.265.786 | 1.406.441 (Jul.) | 53.761 (Jun.) |
| 1992 | 1.749.651 | 661.847 (Jul.) | 139.652 (Agosto) |
| 1993 | 2.869.433 | 1.156.197 (Agosto) | 67.868 (Mayo) |
| 1994 | 1.480.270 | 786.285 (Sep.) | 128.376 (Ene.) |
| 1995 | 7.577.732 | 1.419.817 (Mar.) | 18.772 (Nov.) |
| 1996 | 12.796.945 | 2.161.361 (Jul.) | 394.615 (Dic.) |
| 1997 | 3.510.454 | 1.740.369 (Mar.) | 125.240 (Nov.) |
| Totales. | 34.250.271 | 9.332.317 | 928.284 |
| Medias. | 4.892.896 | 1.333.188 | 132.612 |

Fuente: Anónimo 1 (Confederación Hidrográfica del Segura). 1998.

Tabla 10
Volúmenes totales de las aguas suministradas por el Traspase Tajo-Segura

| Años | Traspase Tajo-Segura. Consumo (m³) | | | Cuenca río Segura. Consumo (m³) | | | Total (m³) |
|------|------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | Anual. | Max. (Mes) | Min. (Mes) | Anual | Max. (Mes) | Min. (Mes) | |
| 1991 | 1991 | 3.317.226 | 792.448 (Jul.) | 37.0470 (Dic.) | - | - | 3.317.226 |
| 1992 | 3.703.387 | 998.168 (May.) | 489.027 (Sep.) | - | - | - | 3.703.387 |
| 1993 | 5.847.914 | 2.021.916 (Ago.) | 489.741 (Mar.) | - | - | - | 5.847.914 |
| 1994 | 2.861.398 | 1.816.250 (Sep.) | 185.360 (Nov.) | - | - | - | 2.861.398 |
| 1995 | 14.887.590 | 2.805.204 (Ago.) | 95.230 (Nov.) | - | - | - | 14.887.590 |
| 1996 | 19.760.323 | 3.279.746 (Mar.) | 711.824 (Abr.) | 4.200.000 | 800.000 (Jun.) | 600.000 (Mayo) | 23.960.323 |
| 1997 | 10.209.520 | 4.940.266 (Mar.) | 185.978 (Oct.) | 600.000 | 600.000 (Mar) | - | 10.809.520 |

Fuente: Anónimo 1 (Confederación Hidrográfica del Segura). 1998.

Dotaciones de agua en la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín

■ **J.A. García; P. Melgarejo; Fca. Hernández; R. Martínez**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología
Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández)

Resumen

En el presente trabajo se van analizar las diferentes fuentes de suministro de agua de riego en la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín (Cuenca del río Segura). Ésta se distribuye a través de cinco comunidades de regantes (C.R.), siendo la principal fuente de suministro la procedente del Trasvase Tajo-Segura, seguida de la de pozos, las del embalse de Fuentes en Lorca, las residuales y las propias del río Segura a su paso por Alcantarilla y Sangonera. Una vez analizadas las distintas fuentes de suministro y volúmenes de agua de riego para cada C.R., se estudia cómo inciden cada una de éstas en las respectivas superficies de riego, obteniendo así las dotaciones en m^3/ha para cada C.R.

Se demuestra que existe un desequilibrio entre dotaciones, por lo que sería conveniente estudiar un reparto más equilibrado para garantizar la competitividad agrícola de las distintas zonas. Seguidamente se compararan las dotaciones disponibles en cada C.R. con los consumos medios anuales recibidos del canal margen derecha del Trasvase Tajo-Segura, en m^3/ha ,

con las dotaciones necesarias para cubrir las necesidades de los cultivos implantados.

Entre las conclusiones obtenidas destaca:

La dotación teórica con la que cuenta cada C.R. no ha sido utilizada en su totalidad, exceptuando la de Lorca, además de que las necesidades son muy superiores a la dotación asignada, por lo que el déficit se suple con la extracción de agua de pozos.

Introducción

La Región Murciana se caracteriza por su vocación agraria y agroalimentaria. Sus tierras y clima permiten producir frutas, hortalizas y flores extratempranas y de excelente calidad. Ello supone un incremento en la demanda de productos agrícolas, lo que ha llevado a los agricultores a ampliar sus tierras de secano a regadío. Esta ampliación de tierras se ve limitada por la escasez de agua. Esta escasez de agua conlleva problemas, los cuales han sido contemplados con creciente preocupación por los ciudadanos de la Región de Murcia y sus instituciones; sus repercusiones sociales, económicas y políticas se han visto especialmente incre-

mentadas en los últimos decenios, como consecuencia del desequilibrio entre los recursos disponibles y las demandas de agua para usos agrícolas, de abastecimiento urbano e industrial y más recientemente para usos medio ambientales (Senent, 1995).

Estas demandas de tierras de regadío serán paliadas en parte por la aparición de la gran hidráulica; aparecen motobombas y motores para la extracción de aguas subterráneas, pero ésta revolución de la hidráulica no será suficiente para suplir la creciente demanda de agua de estas tierras (Pérez Picazo, 1995).

Era necesario la regulación de la Cuenca del Segura; así se construyeron los Embalses de Puentes y Valdeinfierno (los más antiguos de la Cuenca), éstos protegerían a la ciudad de Lorca contra las crecidas que podía sufrir el río Guadalentín y además procuraban recursos hídricos (escasos) para el regadío tradicional de Lorca (Cabezas, 1995). Más tarde se construyeron en la cabecera del Segura los Embalses de Camarillas (35 hm³) y Cenajo (472 hm³). Una vez terminados estos (1960) y contando con el agua que pudiera almacenarse en ambos, se empezó la Regulación Jurídica de la Cuenca del Segura con la que se procedió a la regulación de los nuevos regadíos que pudieran establecerse, mediante la promulgación del Decreto del 25 de abril de 1953 (D-53); la técnica legislativa aplicada en esta ocasión fue la tradicional de la Cuenca: redotar los regadíos tradicionales, legalizar aquellas zonas regables que existían de hecho pero no de derecho y contemplar la creación de nuevos regadíos (Pérez Crespo, 1995).

Esta regulación de las tierras de regadío para la Cuenca del Segura no fue suficiente y más aún cuando se sufre un periodo de sequía, por lo que los recursos hídricos superficiales que pudieran almacenar y regular estos embalses son mínimos. Como consecuencia de esto se produjo la vuelta a la política de las explotaciones de aguas subterráneas, grande en algunos puntos como el área que nos ocupa en este estudio, el Valle del Guadalentín y Lorca; con estas explotaciones se redotaron los regadíos existentes y se transformaron

otras, pero la sobreexplotación de estos acuíferos era insostenible (Pérez Picazo, 1995).

Esta situación llevó al Gobierno a tomar la decisión de trasvasar agua desde el Tajo al Segura actualizando un proyecto de Lorenzo Pardo (1933). La ley 21/1971 de junio, estableció en su artículo 1º el aprovechamiento conjunto de los recursos hidráulicos del Centro y Sudeste de España, estableciendo una primera fase, en la cual se podrían trasvasar a la Cuenca del Segura hasta un máximo de 600 hm³/año de caudales regulados excedentes del Tajo. En una segunda fase podrían derivarse caudales del mismo origen, e igualmente excedentarios hasta un máximo de 1.000 hm³/año (Pérez Crespo, 1995).

La obra mencionada, el Trasvase Tajo-Segura, hoy en día en funcionamiento, dota de agua, a través del Canal Margen Derecha, a la zona de Lorca-Valle del Guadalentín.

El estudio de la incidencia del regadío en la zona regable del Valle del Guadalentín y Lorca y la disponibilidad de agua para su puesta en riego ha sido posible por una obra, el Trasvase Tajo-Segura, discutida y considerada como obra faraónica por causa del período en que fue realizada (1968-1979).

La Obra Estatal Trasvase Tajo-Segura, ha demostrado su viabilidad económica y con la entrada de España en la C.E.E., se destaca su gran incidencia en nuestra economía. Además la cantidad de agua por ella suministrada a la Cuenca del Segura, ha permitido tanto la creación de nuevos regadíos como la mejora de las dotaciones de agua de los regadíos existentes (Castañón, *et al.*, 1989).

La terminación y puesta en servicio del Trasvase Tajo-Segura ha paliado no sólo el panorama anterior, sino que a su amparo se han realizado nuevas transformaciones en regadío, como es ejemplo la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín, emplazada en la provincia de Murcia. El Plan General de Transformación de esta zona fue aprobado en el Decreto 1.533/1975 de 5 junio de 1975 y publicado en el B.O.E. del 11 de julio de 1975.

Zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín

La zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín queda delimitada en el Decreto (1.533/1975 de junio de 1975) que aprobó el Plan General de Transformación en Regadío como sigue:

“Línea cerrada y continua que parte de la intersección de la curva de nivel de 140 m con la carretera de Alcantarilla a Fuentes de Librilla. Sigue por la curva de nivel de 140 m hasta el límite de los términos municipales de Murcia y Librilla por donde continúa hasta la cota 180 m, poligonal que discurre hasta la rambla de Algeciras. Continúa luego por esta rambla hasta el Canal Principal de la Margen Derecha y sigue por el mismo hasta su cruce con la carretera de Murcia a Puerto Lumbreras, para seguir por dicha carretera hasta la cota 340 m y por esta curva de nivel de 340 m hasta la rambla de los Murcianos. Prosigue por el canal de riego de Velopache y la rambla de la Viznaga hasta el río Guadalentín, y continúa por el límite de los riegos tradicionales de la Vega Media del Segura y desde éste y la carretera de Alcantarilla a Fuentes de Librilla hasta su intersección con la cota 140 m que sirvió de punto de partida”. (Castañón et al., 1989).

La extensión delimitada según Decreto 15.533/1975 tiene una superficie de 35.840 ha de las que se consideran factibles de riego 25.320 ha.

La zona descrita y con la finalidad de facilitar su transformación en regadío, se dividió en 8 sectores con independencia hidráulica, siendo la superficie de cada una de ellos la siguiente.

En la tabla 1 se puede observar como el porcentaje de superficie útil de riego del Decreto, sobre la delimitada es del 70,64%. Este porcentaje da un avance de la disparidad topográfica, la cual va a incidir en cierta medida en los enfoques culturales para cada zona así como para las necesidades de riego de estas.

Esta división en 8 sectores se hizo con la finalidad de conseguir un mejor funcionamiento del

suministro de agua para riego, ya que cada sector tendrá unas demandas de agua diferentes dependiendo de su distribución de cultivos. Los sectores al ser independientes forman unidades hidráulicas que son llamadas Comunidades de riego, estas Comunidades pueden estar constituidos por uno o varios sectores.

Tabla 1.
Sectores de riego para la zona de Lorca y Valle del Guadalentín

| Sector. | Superficie total (ha) | Superficie útil (ha) |
|---------|-----------------------|----------------------|
| 1 | 2.800 | 2.400 |
| 2 | 2.730 | 2.670 |
| 3 | 3.780 | 1.540 |
| 4 | 6.150 | 2.500 |
| 5 | 3.780 | 1.910 |
| 6 | 4.420 | 2.980 |
| 7 | 3.600 | 3.290 |
| 8 | 8.580 | 8.030 |
| Total | 35.840 | 25.320 |

Fuente: Castañón et al., (1989).

Comunidades de Riego

Los sectores anteriormente citados y creados bajo el amparo del Decreto 1533/1975 fueron revisados conforme a un Plan Coordinado, el cual consistía en diversos estudios llevados a cabo por la Confederación Hidrográfica del Segura, el Centro de Estudios Hidrográficos y el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, por lo que la superficie útil alumbrada en el Decreto se modificó.

Las Comunidades de riego que forman la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín, así como las superficies declaradas en el Decreto (1.533/1975) y las declaradas en el Plan Coordinado son las siguientes:

Tabla 2. Comunidades de riego. Superficies útiles de riego

| Comunidad de Riego (Sector/es que al integran) | Superficie útil según Decreto (ha). | Superficie útil según Plan Coordinado (ha). | Aumento o disminución de superficie (ha). |
|---|--|--|--|
| Sangonera-Alcantarilla (1) | 2.400 | 2.670 | 270 |
| Librilla (2) | 2.670 | 2.678 | 8 |
| Alhama de Murcia (3 y 4) | 4.040 | 3.729 | -311 |
| Totana (5 y 6) | 4.890 | 5.748 | 858 |
| Lorca (7 y 8) | 11.320 | 11.320 | - |
| Total | 25.320 | 26.145 | 825 |

Fuente: Castañón, *et al.*, (1898).

Como se puede observar en la tabla 2, hay un aumento de superficie útil de riego en la zona del Valle del Guadalentín y Lorca de 825 ha, lo que supone un incremento del 3,25% con respecto a la declarada en el Decreto (1.553/1975) en su Plan General de Transformación en Regadío, como consecuencia de estudios Coordinados posteriores realizados de dicha zona.

Disponibilidades hidráulicas del agua servida por el canal margen derecho del acueducto Tajo-Segura

La zona regable de Lorca y Valle del Guadalentín, cuenta con las siguientes superficies de riego y volúmenes de agua del Trasvase y Propios:

Y una dotación media unitaria de riego de: $145 \text{ hm}^3/25.945 \text{ ha} = 0,0055 \text{ hm}^3/\text{ha} = 5.588 \text{ m}^3/\text{ha}$

Datos que marcan unas dotaciones a emplear de $6.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ en nuevos regadíos, con un volumen total de: $6.500 \text{ m}^3/\text{ha} \times 6.731 \text{ ha} = 43.751.500 \text{ m}^3 = 43,75 \text{ hm}^3$.

Con lo que se va a disponer de una dotación de mejora o complemento para los regadíos existentes; los cuales disponían de una dotación unitaria sólo con recursos propios menor que la dotación de nuevos regadíos con recursos del Trasvase. Esta dotación de mejora va a ser: $(65 - 43,75) \text{ hm}^3/19.214 \text{ ha} = 0,0011 \text{ hm}^3/\text{ha} = 1.100 \text{ m}^3/\text{ha}$

Tabla 3. Superficies de regadío y disponibilidades hídricas

| Disponibilidades hídricas. ($\text{hm}^3/\text{año}$). | | Superficie de regadío. (ha). | |
|--|-------------------|------------------------------|-----------------|
| Recursos Propios | Recursos Trasvase | Regadíos existentes | Nuevos regadíos |
| 80 | 65 | 19.214 | 6.731 |

Fuente: Castañón *et al.*, (1989).

Dotación unitaria de riego para los nuevos regadíos, sólo con los recursos del Trasvase:

$65 \text{ hm}^3/6.731 \text{ ha} = 0,0096 \text{ hm}^3/\text{ha} = 9.600 \text{ m}^3/\text{ha}$

Dotación unitaria de riego para los regadíos existentes, sólo con los recursos propios:

$80 \text{ hm}^3/19.214 \text{ ha} = 0,0041 \text{ hm}^3/\text{ha} = 4.100 \text{ m}^3/\text{ha}$

Se puede observar que existe una gran disparidad entre ambas dotaciones:

$9.600 \text{ m}^3/\text{ha} - 4.100 \text{ m}^3/\text{ha} = 5.500 \text{ m}^3/\text{ha}$

Análisis de las disponibilidades hidráulicas y su empleo, por Comunidades de Riego

Las Comunidades de riego cuentan con varios recursos hídricos, todos ellos regulados jurídicamente por el Estado mediante sus organismos competentes, éstos pueden variar de una Comunidad a otra, pero por lo general son comunes. Estos recursos hidráulicos son: los procedentes del Trasvase Tajo-

Tabla 4
Disponibilidades hídricas de la Comunidad de riego de Sangonera-Alcantarilla

| Recursos hidráulicos. | Volúmenes de agua. (m³). | Superficies de riego. (ha). | Dotaciones de riego. (m³/ha). |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Trasvase. | 6.160.000 | 2.670 | 2.307 |
| Segura D-53. | 1.290.702 | | 483 |
| Residuales. | 880.000 | | 329 |
| Total. | 8.330.702 | 2.670 | 3.119 |

Fuente: Elaboración propia (según información de la Confederación y Comunidades de Regantes), (1998)

Segura, regulados por Ley (52/80 de 16 de octubre); los procedentes de aguas subterráneas, regulados por la Ley de Aguas de 1985; los procedentes de las aguas residuales urbanas, previamente depuradas para que sean aptas para el riego; los procedentes del río Segura, reguladas por Ley en el Decreto del 53 y las procedentes de los embalses de Puentes y Valdeinfierno, también regulados por el mismo Decreto. Estos dos últimos recursos hidráulicos son sólo de unas Comunidades de riego; así los recursos procedentes del río Segura son exclusivos de la Comunidad de Sangonera-Alcantarilla y los de los embalses son de la Comunidad de Lorca.

Comunidad de Riego de Sangonera-Alcantarilla

- Esta Comunidad integra el Sector 1, de la zona regable del Valle del río Guadalentín. La disponibilidad de recursos hidráulicos para el Sector 1, se distribuye de la siguiente forma:
- Del volumen de agua de 65 hm³ derivados del canal Margen Derecha del Trasvase Tajo-Segura para la zona del Valle del Guadalentín y Lorca, 6.160.000 m³ son para esta Comunidad.
 - De la parte proporcional de las aguas que suministra el río Segura (D-53) para 270 ha incluidas en la superficie del Sector 1, le corresponde un volumen total de agua de 1.290.702 m³.
 - De la parte proporcional de aguas residuales para

- 200 ha incluidas en el Sector 1 le corresponde un volumen de agua de 880.000 m³.
- Las disponibilidades de aguas de pozos son prácticamente nulas, por agotamiento de los pozos existentes debido a la sobreexplotación.
- Como se puede ver la Comunidad de Sangonera va a disponer de una dotación máxima no constante de 3.119 m³/ha, que es la suma de la dotación con aguas del Trasvase más las dotaciones del río Segura y residuales (mínimas e irregulares), estas últimas son de complemento a la del Trasvase y una dotación media procedente de 2.307 m³/ha.

Comunidad de Riego de Librilla

- La Comunidad de riego de Librilla engloba el Sector 2 del Plan de Riegos del río Guadalentín. La disponibilidad de recursos hidráulicos para el riego se distribuye de la siguiente forma:
- Del volumen de 65 hm³ derivados del canal del Trasvase Tajo-Segura, 6.854.000 m³ son para esta Comunidad.
 - Concesión de aguas residuales con un volumen de 200.000 m³.
 - En este sector la disponibilidad de aguas de pozos es prácticamente nula.
- Como se ve en la tabla 5 esta Comunidad dispone de una dotación máxima de 2.634 m³/ha, esta es la

Tabla 5
Disponibilidades hídricas y dotaciones de riego para la Comunidad de Librilla

| Recursos hídricos | Volúmenes de agua. (m³). | Superficie de riego. (ha). | Dotaciones de riego. (m³/ha). |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Trasvase | 6.854.000 | 2.678 | 2.599 |
| Aguas residuales | 200.000 | | 75 |
| Total | 7.054.000 | | 2.634 |

Fuente: Elaboración propia (según información de la Confederación y Comunidades de Regantes), (1998).

Tabla 6
Disponibilidades hídricas y dotaciones de riego para la Comunidad de Alhama

| Recursos hídricos | Volúmenes de agua de riego. (m³). | Superficie de riego (ha). | Dotaciones de riego. (m³/ha). |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Trasvase | 10.362.000 | 3.729 | 2.779 |
| Aguas residuales | 473.000 | | 127 |
| Total | 10.835.000 | 3.729 | 2.906 |

Fuente: Elaboración propia (según información de la Confederación y Comunidades de Regantes), (1998).

suma de la dotación del Trasvase más la complementaria procedente de aguas residuales; así como una dotación mínima de 2.599 m³/ha, que es sólo la dotación del Trasvase.

Comunidad de Riego de Alhama de Murcia

Esta Comunidad engloba los Sectores 3 y 4. Las disponibilidades de recursos hidráulicos para el riego se distribuyen de la siguiente forma:

- Del volumen de 65 hm³ derivados del canal del Trasvase Tajo-Segura, 10.362.000 m³ son para esta Comunidad.
- Concesión de aguas residuales estimadas en 473.000 m³.

Comunidad de Riego de Totana

Esta Comunidad engloba los Sectores 5 y 6
Los recursos hidráulicos que dispone la Comunidad son los que se detallan a continuación:

- Aguas del Trasvase Tajo-Segura, con un volumen de agua para riego de 12.553.000 m³ (12,553 hm³).
- Aguas residuales, con un volumen de agua para riego de 914.544 m³ (0,914 hm³).
- Aguas de pozos existentes en la zona, con un volumen de agua de 1.080.000 m³ (1,080 hm³).

Comunidad de Riego de Lorca

Esta Comunidad integra los Sectores 7 y 8. Las disponibilidades hídricas para esta Comunidad de Riego son las siguientes:

- Aguas del Trasvase Tajo-Segura con un volumen total de 29.060.000 m³.
- Aguas procedentes de los Embalses de Puentes y Valdeinfierno con un volumen de 6.000.000 m³, estos recursos tienen una acusada variabilidad anual.
- Aguas procedentes de pozos con un volumen de 20.160.000 m³.

Tabla 7

Disponibilidades hídricas y dotaciones de riego para la Comunidad de Totana

| Recursos hidráulicos | Superficie de riego. (ha). | Volúmenes de agua de riego. (m ³). | Dotación de riego. (m ³ /ha). |
|----------------------|-------------------------------|---|---|
| Trasvase | 5.748 | 12.553.000 | 2.184 |
| Aguas residuales | | 914.544 | 159 |
| Aguas subterráneas | | 1.080.000 | 188 |
| Total | | 14.547.544 | 2.531 |

Fuente: Elaboración propia (según información de la Confederación y Comunidades de Regantes), (1998).

Tabla 8

Disponibilidades hídricas y dotaciones de riego para la Comunidad de Lorca

| Recursos hídricos. | Superficie de riego. (ha). | Volúmenes de agua de riego. (m ³). | Dotaciones de riego. (m ³ /ha). |
|--------------------|-------------------------------|---|---|
| Trasvase. | 11.320 | 29.060.000 | 2.567 |
| Embalses. | | 6.000.000 | 530 |
| Pozos. | | 20.160.000 | 1.781 |
| Total. | 11.320 | 55.220.000 | 4.878 |

Fuente: Elaboración propia (según información de la Confederación y Comunidades de Regantes), (1998).

Conclusiones

Como se ha puesto de manifiesto a lo largo de este estudio, los mayores volúmenes de agua con los que cuentan las Comunidades de Regantes, corresponden a las procedentes del Trasvase Tajo-Segura (aprox. 65 hm³) lo que supone un 67,70% del volumen total (aprox. 96 hm³). Las aguas sobrantes del río Segura (D-53) con un volumen de 1.290.702 m³, representa un 1,34% del total, y de éstos sólo dispone la Comunidad de Regantes de Sangonera. Las aguas residuales con un volumen total de 2.467.544 m³, representan el 2,6% del total, que es el doble de las aguas sobrantes del río Segura. Las aguas procedentes del embalse de Puentes, exclusivas de Lorca, con un volumen de 6 hm³, representan un 6,2% del volumen total, si bien hay que decir, que del periodo comprendido entre 1991 y 1997, no han recibido agua alguna de éste (según la C.H.S., 1998). Por último, decir, que las aguas procedentes de

pozos, con un volumen total de aproximadamente 21 hm³, representan un 22% del volumen total y éstas como se puede ver, son casi exclusivas de la Comunidad de Lorca (aprox. 20 hm³).

Todo esto se puede resumir en:

1. Una gran importancia del volumen de agua disponible del Trasvase Tajo-Segura, para la zona regable de Lorca-Valle del Guadalentín.
2. Importancia relativa de la utilización de aguas residuales, para toda la zona del estudio, que supera a la disponible del río Segura; si bien señalar que Lorca no dispone de éstas.
3. Una gran dependencia, por parte de la Comunidad de Regantes de Lorca, de aguas subterráneas.

En cuanto a las dotaciones de riego, se ha podido observar una acusada diferencia entre la dotación de riego mayor, que es la de la Comunidad de Regantes de Lorca (4.878 m³/ha) y la menor, que es la de la Comunidad de Regantes de Totana (2.531 m³/ha); por

lo que ya se puede aventurar, que es necesario hacer un reparto más equitativo de éstos volúmenes de agua.

Bibliografía

Cabezas, F. 1995. "Los recursos hídricos superficiales: regulación actual y posibilidades futuras". En Agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 93-105 pp.

Castañón, G.: Sandoval, J.y Soriano, J. 1989. El Traslase Tajo-Segura, solución al desequilibrio hidro-

lógico. Ediciones Nuevos Enfoques. Madrid. 167 pp.

Pérez Crespo, A. 1995. "La cultura del agua en la cuenca del Segura". En agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 41-49 pp.

Pérez Picazo, M^a. 1995. "Introducción histórica". En agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 13-41 pp.

Senent, M. 1995. "Recursos hídricos subterráneos". En Agua y Futuro de la Región de Murcia. Edición Compobell. Murcia. 105-129 pp.

Descripción de las aguas de pozo en la Vega Baja del Segura, durante el periodo de sequía 1994-95

▀ *J.J. Martínez; Fca. Hernández; J. Martínez; R. Martínez-Font; M.A. Oltra*

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología

Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández)

Resumen

En este trabajo se realiza un estudio descriptivo de la calidad agronómica de las aguas de pozo de la Vega Baja del Segura, durante el periodo de sequía 1994-95. Se tomaron muestras de agua de 274 pozos, de los que se determinó su analítica.

Con los resultados se ha realizado una estadística descriptiva básica, así como representaciones gráficas que ilustran la variabilidad y distribución de algunos de los principales parámetros analizados. También se ha determinado la ecuación de regresión lineal que liga la conductividad eléctrica en dS/m con el contenido en sólidos solubles totales expresados en g/l, obteniéndose un coeficiente de correlación entre ambas variables de 0.95.

En conjunto se trata de aguas de muy mala calidad, que realizan altísimas aportaciones de varios elementos químicos (boro, cloruros, sodio, sulfatos, etc.), incluso a un nivel tóxico para muchos cultivos. Sin embargo, quizás lo más preocupante es su capacidad degradante de la estructura y fertilidad del suelo, por el daño tan enorme que esto supone tanto desde el punto

de vista económico, como desde una perspectiva medio ambiental.

Introducción

Históricamente la Vega Baja del Segura ha regado sus tierras con las aguas del río. Sin embargo, dada la enorme escasez de este recurso, y como consecuencia de las periódicas sequías, por el río Segura no fluye agua suficiente para saciar la sed de las múltiples tomas de riego que tiene a lo largo de su travesía hasta el mar. Por ello los agricultores de la Vega Baja, se han visto obligados a buscar agua en el subsuelo, realizando sondeos en busca de esa deseada agua, que es fuente de vida para todos, y además fuente de ingresos para los hombres que viven de la tierra.

Es por todo esto, que se consideró importante conocer la calidad de estas aguas, y para ello se realizaron análisis de numerosos pozos de cada una de las zonas que constituyen la Vega Baja. La finalidad era conocer de una forma general, y también particular cual era la calidad agronómica de las aguas de pozo que se estaban utilizando en la zona baja del Segura.

Material y métodos

Las muestras de agua se tomaron de pozos de uso agrícola. La zona de muestreo fue la Vega Baja del río Segura desde el límite entre Orihuela y Murcia hasta Guardamar, y desde el Campo de Torremendo hasta el Campo de la Murada. Esta superficie supone bastantes miles de hectáreas cultivadas principalmente de cítricos, frutales y hortalizas tanto al aire libre como bajo plástico.

Durante la toma de muestras se tenían en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se utilizaron recipientes de plástico de aproximadamente un litro de capacidad.

- La muestra se tomaba cuando el equipo de bombeo se encontraba en régimen estacionario de trabajo.

- Las muestras eran trasladadas a un laboratorio especializado el mismo día en que eran tomadas, y excepcionalmente al día siguiente, en cuyo caso eran conservadas en frigorífico a unos 5°C aproximadamente.

- Las muestras eran correctamente etiquetadas, indicando los siguientes datos: origen del agua, localización y cultivos predominantes a los que iba destinada.

El laboratorio que realizó los análisis aplicó los métodos de análisis normalizados por el MAPA. El número total de muestras analizadas fue de 274.

En el presente trabajo se han analizado, medido e interpretado los siguientes parámetros: PH, C.E., S.T.D., sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, boro, relación de absorción de sodio (S.A.R.), PH al cual precipitan los carbonatos (PHc), S.AR. ajustado, carbonato sódico residual (C.S.R.), dureza, índice de Scott, presión osmótica, punto de congelación, índice de saturación, índice de saturación de Langelier y alcalinidad a eliminar.

De los resultados de los parámetros anteriores se ha realizado una estadística básica, así como representa-

ciones gráficas que ilustran distribución de algunas de las principales variables.

Resultados

A continuación mostramos algunos de los principales parámetros de medida de la calidad de las aguas, los intervalos en los que fluctúan, así como la frecuencia expresada en porcentaje que corresponde a cada uno de esos intervalos.

pH

Como podemos apreciar en el Gráfico 1, prácticamente la mitad de las aguas (48,75%) tenían un pH superior a 7,5; mientras que el 45,91% lo tenían entre 7 y 7,5.

Las aguas con un PH por encima de 7,5 ocasionan problemas en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas.

La conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos

Estos son los indicadores por excelencia del contenido de sales totales del agua. Son por ello las medidas más utilizadas en campo, ya que con un simple conductímetro portátil se puede tener una primera aproximación a la calidad de un agua. La forma habitual en el campo para estimar los sólidos totales disueltos, es multiplicar la conductividad eléctrica en dS/m por un coeficiente, que habitualmente ha sido 0,64 (1), este coeficiente aplicado de forma indiscriminada resulta poco apropiado por las características de nuestras aguas; por ello veremos en este apartado cuál es la ecuación que liga la conductividad eléctrica con el total de sólidos disueltos para las aguas de la Vega Baja.

Por encima de 4 dS/m (aguas de pésima calidad) se encuentran el 57,13%; por lo que nos quedan como aguas con una calidad “aceptable” para riego no más del 42,87% (1-4 dS/m).

La expresión general que relaciona la C.E. con los S.T.D., es la siguiente:

$$\text{S.T.D. (g/l)} = 0,84 * \text{C.E. (ds/m)} - 0,035; R = 0,95$$

Sodio

El 74,65% de las aguas tenían un contenido en sodio de 0,25-1 g/l, estando por debajo de ese intervalo sólo el 4,64% de las aguas; y por encima el 20,71% (o sea que 1/5 de las aguas tienen más de 1 g/l de sodio). En general se trata de unas aguas con un nivel excesivo de sodio, que tiene un efecto degradante en la estructura del suelo, así como una acción tóxica sobre los cultivos.

Potasio

Más del 90% de las aguas contenían entre 0 y 40 mg/l de potasio, por lo que la aportación de este nutriente es baja.

Calcio

Aproximadamente el 70% de las aguas contenían entre 100 y 350 mg/l de calcio.

Magnesio

Aproximadamente un 60% de las aguas tenían un contenido en magnesio que oscilaba entre 150-300 mg/l; y un 80% lo hace entre 75-300 mg/l.

Cloruros

El 72,6% de las aguas tenían un contenido en cloruro entre 0,5-1,5 g/l.; estando comprendidas entre 0,5-1 g/l el 50,89% de las aguas. Se trata de contenidos muy altos que originan problemas de toxicidad y descenso de rendimientos en los cultivos.

Sulfatos

Por debajo de 0,5 g/l sólo estaban un 18,15% de las aguas, teniendo el 70,46% entre 0,5-2 g/l. Se trataba de niveles de sulfato muy elevados, que ocasionan toxicidad en las plantas.

Bicarbonatos

El 56,94% de las aguas estaban entre 200-400 mg/l; y el 80% entre 200-500 mg/l.

Nitratos

El 64,06% de las aguas analizadas estaban por debajo de los 50 mg/l; y el 76,52% por debajo de 100 mg/l.

Boro

El contenido de boro es de 0,5-1,5 p.p.m. para el 57,14% de las aguas. Estos niveles de boro son tóxicos para muchas plantas y en especial para los cítricos.

Algunos autores consideran que niveles mayores o iguales a 0,5 p.p.m. son tóxicos para la mayoría de las plantas cultivadas, no siendo aconsejable utilizar aguas que superen las 2,5 p.p.m. Según este criterio sólo serían recomendables para regar el 11,07% de las aguas analizadas (0-0,5 p.p.m.).

La Tabla 1, que se muestra a continuación, contiene una estadística básica de los diferentes parámetros analizados en estas aguas.

Conclusiones

De la información descrita a lo largo de este trabajo se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Esta era un agua con un pH y una conductividad eléctrica (C.E). excesivos.
2. El coeficiente válido para estimar los sólidos totales disueltos (S.T.D.) en g/l a partir de la C.E. en

dS.m-1, es de aproximadamente 0,83.

$S.T.D.(g/l) = 0,83 * C.E.(ds/m)$

3. Son muy notables las aportaciones de elementos que realiza este agua, presentando desequilibrios entre algunos de estos elementos, especialmente Ca2+, Mg2+ y K+.

4. No será necesario aportar fertilizantes de calcio, magnesio, sulfato y boro; salvo para intentar compensar algún desequilibrio.

5. Se encuentran en niveles de toxicidad para la mayoría de los cultivos: cloruros, sulfatos, boro y sodio.

6. Los altos niveles de sodio pueden conllevar un efecto degradante de la estructura del suelo, con la consiguiente y progresiva pérdida de fertilidad del mismo.

7. En conjunto y según todas las normas de calidad del agua de riego, ésta es de muy mala calidad.

Bibliografía

(1) Cánovas Cuenca, Juan. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 1986.

Tabla 1
Estadística básica para diferentes parámetros analizados en las aguas

| Variable | Media | Desv.tip. | Tamaño | Err.est. | Mínimo | Máximo |
|----------------|----------|-----------|--------|-----------|--------|---------|
| PH | 7,556 | 0,474 | 274 | 0,028646 | 6,55 | 9,41 |
| C.E. | 4,681 | 1,959 | 274 | 0,11833 | 1,06 | 17,55 |
| S.T.D. | 3,893 | 1,737 | 274 | 0,10494 | 0,75 | 13,12 |
| SODIO | 714,505 | 405,666 | 274 | 24,5072 | 35,7 | 3000 |
| POTASIO | 22,888 | 20,399 | 274 | 1,2324 | 0,85 | 138,6 |
| CALCIO | 232,259 | 115,537 | 274 | 6,9798 | 7,45 | 559,5 |
| MAGNESIO | 223,023 | 109,128 | 274 | 6,5926 | 17,6 | 775 |
| CLORUROS | 1042,884 | 614,894 | 274 | 37,1471 | 62,41 | 5921,82 |
| SULFATOS | 1219,564 | 743,950 | 274 | 44,9437 | 78,36 | 4788,08 |
| CARBONATOS | 0,6646 | 3,6196 | 274 | 0,21867 | 0 | 30,3 |
| BICARBONATOS | 349,6643 | 128,3961 | 274 | 7,7567 | 0 | 879,62 |
| NITRATOS | 70,6491 | 96,3907 | 274 | 5,8232 | 0 | 456,59 |
| N.AMONIACAL | 0,2221 | 2,3013 | 231 | 0,15142 | 0 | 32,4 |
| FOSFATOS | 0,6805 | 6,6785 | 231 | 0,43941 | 0 | 89,62 |
| BORO | 1,4381 | 1,6219 | 273 | 0,097984 | 0 | 4,85 |
| S.A.R. | 8,0669 | 3,6214 | 272 | 0,21958 | 0,39 | 20,86 |
| pHc | 6,9156 | 0,2610 | 227 | 0,017325 | 6,15 | 8,37 |
| S.A.R.ajustado | 20,4738 | 9,6775 | 227 | 0,64232 | 1,02 | 54,85 |
| C.S.R. | -24,0144 | 14,3789 | 272 | 0,87185 | -87,53 | 31,98 |
| DUREZA | 149,7782 | 68,7379 | 272 | 4,1678 | 15,6 | 459,18 |
| IND.SCOTT | 2,6893 | 2,8259 | 271 | 0,17166 | 0,34 | 32,69 |
| P.OSMÓTICA | 1,7079 | 0,7354 | 229 | 0,048599 | 0,38 | 6,32 |
| P.CONGELACIÓN | -0,15812 | 0,0736 | 227 | 0,0048846 | -0,51 | 0,17 |
| I.SATURACIÓN | 0,9300 | 0 | 1 | 0 | 0,93 | 0,93 |
| I.S.LANGELIER | 0,6798 | 0,4580 | 204 | 0,032067 | -0,2 | 3,58 |
| ALC.ELIMINAR | 2,8613 | 0,5853 | 203 | 0,041079 | 0 | 4,48 |

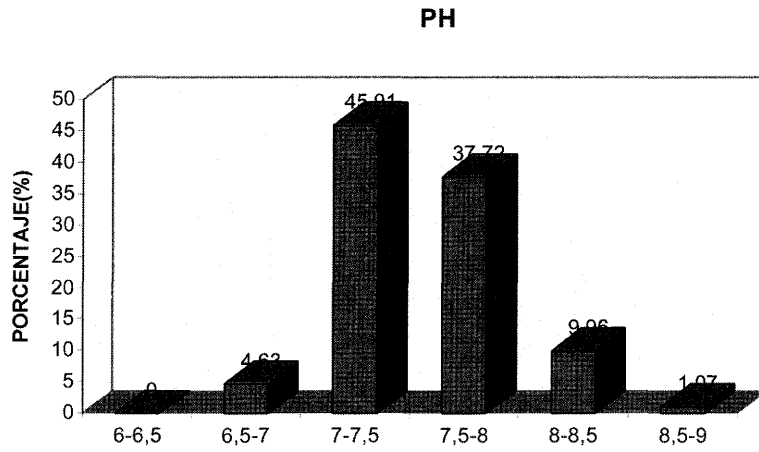


Figura 1. Intervalos de pH.

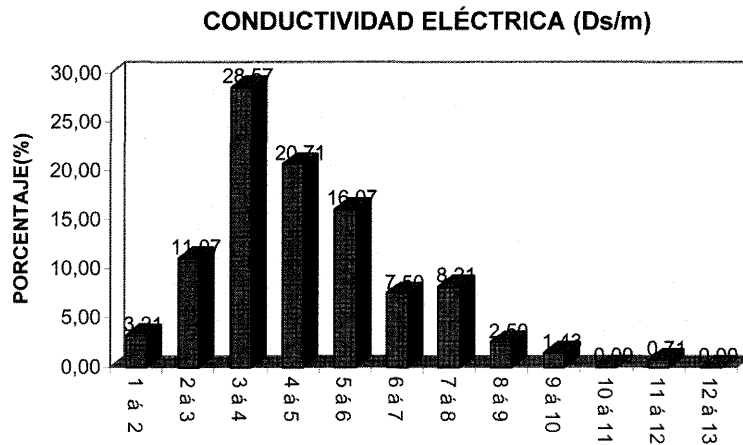


Figura 2. Conductividad eléctrica (ds/m).

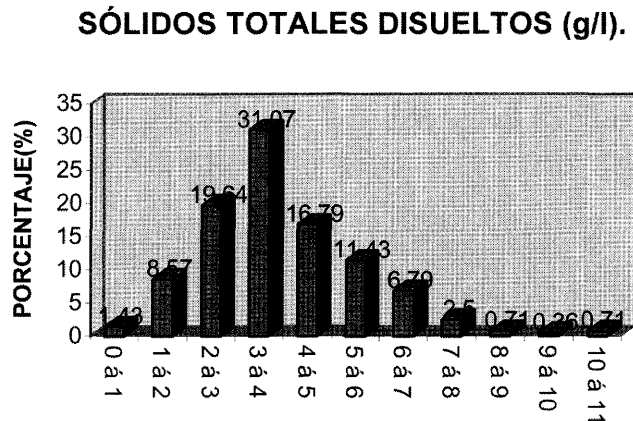


Figura 3. Sólidos totales disueltos (g/l).

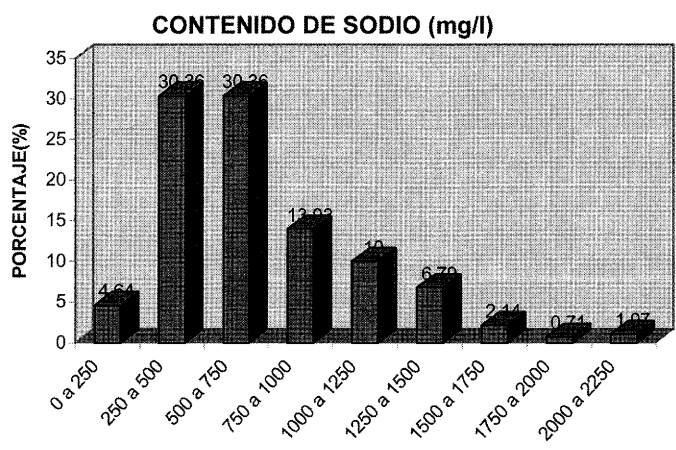


Figura 4. Contenido de socio (mg/l).

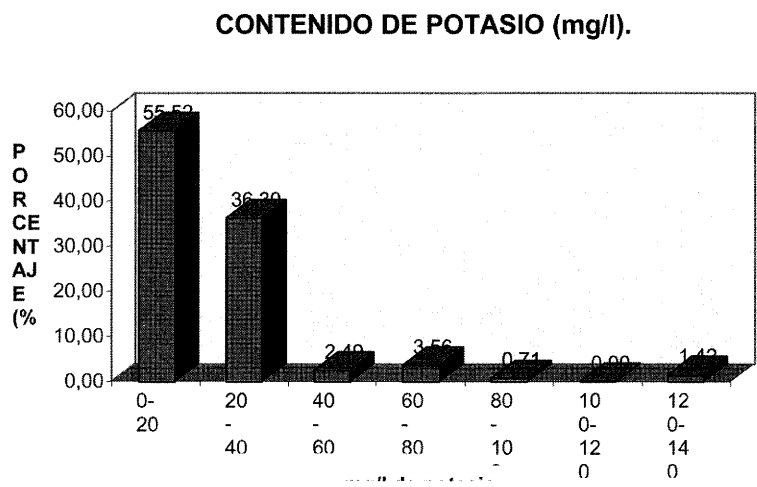


Figura 5. Contenido en potasio (mg/l).

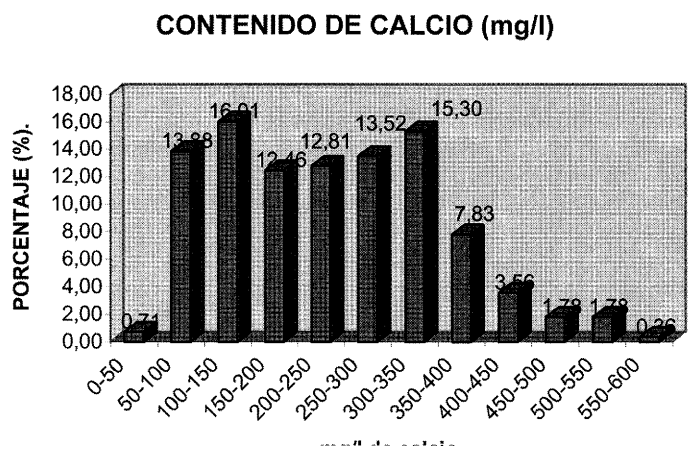


Figura 6. Contenido en calcio (mg/l).

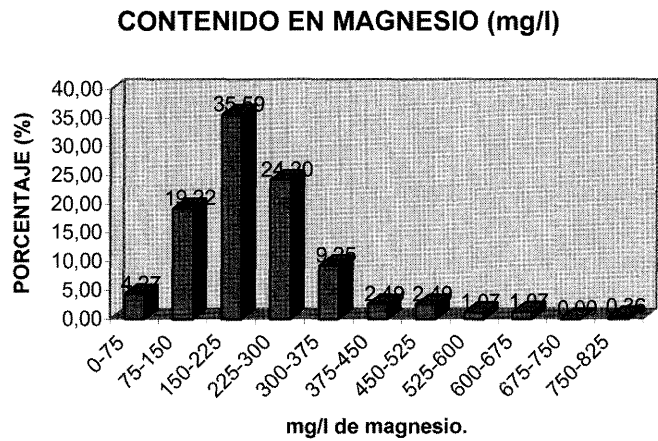


Figura 7. Contenido en magnesio (mg/l).

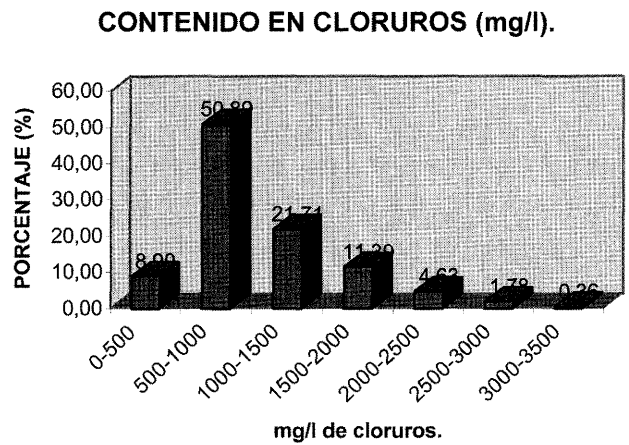


Figura 8. Contenido en cloruros (mg/l).

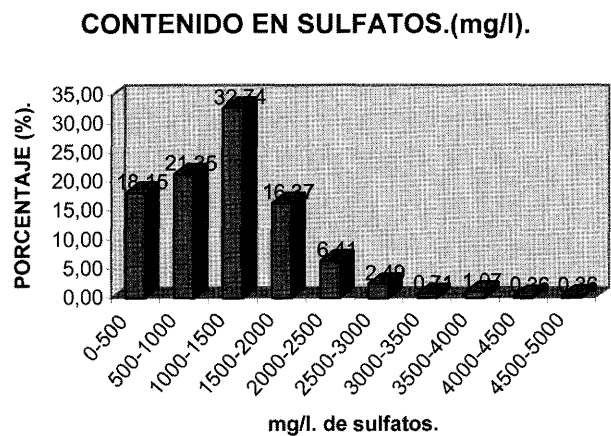


Figura 9. Contenido en sulfatos (mg/l).

CONTENIDO EN BICARBONATOS (mg/l).

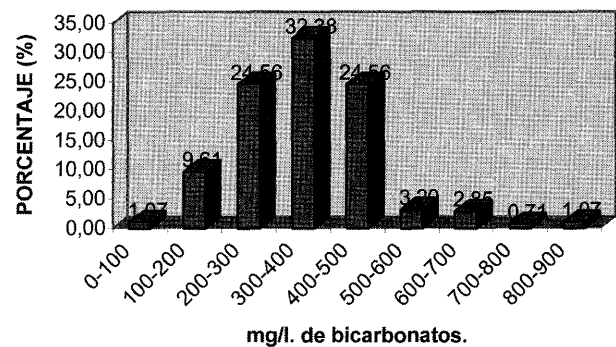


Figura 10. Contenido en bicarbonatos (mg/l).

CONTENIDO EN NITRATOS (mg/l).

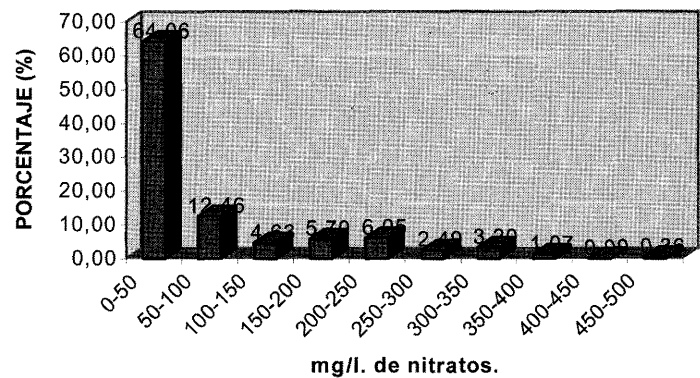


Figura 11. Contenido en nitratos (mg/l).

CONTENIDO EN BORO (mg/l).

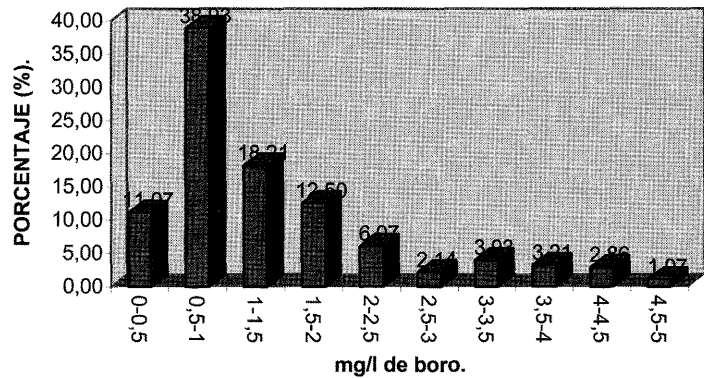


Figura 12. Contenido en boro (mg/l).

Riego deficitario controlado en granado (*Punica granatum* L.).

Identificación de periodos críticos

■ **J.J. Martínez; P. Melgarejo; J. Trigueros; J.M. Cámara**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología
Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández)

■ **A. Pérez Pastor**

Departamento de Producción Agraria. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena

Resumen

En una parcela experimental perteneciente a la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández), en la que se encuentra el principal banco de germoplasma de granado (*Punica granatum* L.) de la Unión Europea, se aplicaron, sobre 7 clones de este cultivo, 4 tratamientos de riego, un control, regado al 100% de la ETc (T0), calculada a partir de la lámina de agua evaporada en una cubeta clase A, y 3 tratamientos en los que se suprimió el riego totalmente y de modo parcial en distintos momentos fenológicos del cultivo: plena floración-fase I de crecimiento del fruto, con supresión total del riego (T1) y al 50% de la ETc (T2); inicio de floración-cuajado inicial con supresión de riego (T3). El marco de plantación del cultivo es de 3x4 m, con un suelo de textura franco arcillosa y sistema de riego por goteo.

Los resultados mostraron una clara separación entre los procesos de crecimiento de los brotes y el del fruto, iniciándose éste cuando se había completado el 90% del crecimiento total del primero. El estrés hídrico aplicado en la fases de floración-cuajado y fase I y

II del crecimiento del fruto no afectó a la cantidad ni a la calidad final del fruto recolectado, pudiendo definir a estas fases fenológicas como no críticas, a la hora del establecimiento de estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC) en granado.

Introducción

El granado se cultiva fundamentalmente en la zona de Levante, en suelos marginales y de mala calidad agronómica, gracias a su gran capacidad de adaptación a suelos pobres y con escasez de agua. No obstante, este cultivo ha adquirido en dicha zona una importancia considerable, muestra de ello es que la provincia de Alicante es la primera productora nacional de granadas, con una superficie cultivada de 2.403 Ha y una producción de 22.000 t, mientras que la provincia de Murcia es la segunda, con una superficie de 256 Ha y una producción de 1.446 t. Ambas provincias juntas suponen el 93,6% de la producción nacional de esta fruta (8).

Por ello es conveniente adoptar una serie de medidas para la mejor explotación de este cultivo, encami-

nadas no solamente a obtener las mayores producciones, sino también al máximo aprovechamiento de los recursos naturales empleados, y entre ellos el agua.

Las limitaciones de agua para riego en la cuenca mediterránea son muy importantes, debido una escasa pluviometría, que sólo satisface una cuarta parte de las necesidades hídricas de los cultivos (14). Es por ello que en estos últimos años se han venido realizando estudios para la mejor utilización de este preciado elemento.

Una de las técnicas ensayadas en este sentido es lo que se conoce con el nombre de Riego Deficitario Controlado (RDC), que es una estrategia de aplicación de agua que se basa en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, y de cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo (9).

Aunque para el material vegetal autóctono de la especie *Punica granatum* L. no hay ninguna experiencia en este sentido, podemos contar con una serie de antecedentes en otros frutales como melocotonero y peral, para los cuales, Chalmers *et al.* (1984) en el primer caso y Michell *et al.* (1984, 1989) en el segundo, realizaron una serie de trabajos.

El objetivo de nuestro experimento es evaluar la respuesta del granado frente a diversos tratamientos de riego, consistentes en la reducción o supresión de los aportes hídricos en ciertos momentos del ciclo fenológico del cultivo, es decir, se trata de ensayar diferentes estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC) en granado.

Material y métodos

Parcela experimental

Este experimento se ha llevado a cabo en la finca experimental de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández de Elche).

Dicha finca cuenta con el mayor banco de germoplasma de la Unión Europea.

El marco de plantación utilizado es de 3x4 m y el suelo es de textura franco-arcillosa. La climatología de la zona es Mediterráneo-Subtropical, caracterizado por sus elevadas temperaturas (19 °C de temperatura media anual), y bajas precipitaciones (alrededor de 300 mm anuales). Se utiliza el sistema de riego por goteo, disponiendo cada árbol de 6 goteos.

Tratamientos de riego

El cálculo de las necesidades hídricas se realizaba semanalmente a partir de los datos obtenidos en la estación agrometeorológica situada en la Escuela Politécnica Superior de Orihuela y utilizando el “método evaporimétrico de la cubeta clase A”.

Se han establecido cuatro tratamientos de riego, tres de los cuales consisten en la supresión o reducción de las dosis de agua calculadas mediante el método mencionado a través de unas llaves instaladas en las líneas portagoteros. Hubo un tratamiento control (T0) aplicado durante todo el ciclo anual del cultivo al 100% de sus necesidades hídricas.

Los tratamientos utilizados son los que se indican en el cuadro siguiente:

| Tratamientos | Nivel de estrés | Inicio | Final | Periodo fenológico |
|--------------|-----------------|--------|--------|-------------------------------------|
| T-0 | - | - | - | - |
| T-1 | 100% | 26-Abr | 10-Jun | Floración 1ª. semana de junio |
| T-2 | 50% | 26-Abr | 22-Jun | 1ª. flores abiertas cuajado |
| T-3 | 100% | 23-Mar | 12-May | Brotación plena floración |

El consumo de agua fue controlado por medio de la lectura de un contador volumétrico. En la Tabla 1 se indican los volúmenes de agua aplicados para cada tratamiento, con el ahorro de cada uno de ellos respecto al control.

Para observar la influencia de los tratamientos deficitarios establecidos sobre el crecimiento del fruto, se realizó un seguimiento de su diámetro ecuatorial con el calibre digital ya descrito. Para ello se tomó una muestra de 8 frutos por árbol.

Tabla 1.
Consumo de agua por tratamiento

| Tratamientos | Nivel de estrés | Inicio | Final | Periodo fenológico |
|--------------|-----------------|--------|--------|------------------------------|
| T-0 | - | - | - | - |
| T-1 | 100% | 26-Abr | 10-Jun | Floración-1ª semana de junio |
| T-2 | 50% | 26-Abr | 22-Jun | 1ª flores abiertas-cuajado |
| T-3 | 100% | 23-Mar | 12-May | Brotación-plena floración |

Material vegetal

Se han seleccionado para este experimento siete clones de granado: ME16, ME18, ME19, PTO1, PTO2, PTO3 y CRO2. Cada clon tiene cuatro repeticiones, por lo que en total tenemos 28 árboles. Los representantes de cada clon fueron sometidos a cada uno de los tratamientos de riego establecidos. Cada unidad experimental disponía de 7 árboles.

Controles y medidas

Para el seguimiento de la humedad del suelo, se instalaron veintiocho baterías de tensiómetros de 12' (30 cm) y 24' (60 cm), a través de las cuales se ha controlado la evolución de la tensión matricial del suelo a las profundidades indicadas.

Para comprobar la respuesta del crecimiento vegetativo de los árboles seleccionados frente a los tratamientos de déficit hídricos, se realizan los siguientes controles:

- Incremento del diámetro de tronco y ramas principales, con un calibre digital, marca Mitutoyo (precisión 0.01 mm), en dos fechas diferentes.
- Crecimiento de los brotes en longitud a través de su medida periódica por medio de una regla, para lo cual se escogió una muestra de dieciséis de ellos al azar y uniformemente repartidos por cada árbol estudiado.

Se pesó la producción por árbol para cada uno de los tratamientos en una balanza digital de 60 kg, marca plataform scale serie K, modelo BM-60 (precisión 0.01 kg); de esta forma se comprueba si las fases de estrés establecidas ejercen alguna influencia en la producción final.

También se realizó un estudio de la densidad radicular para conocer la respuesta que experimenta la raíz frente a condiciones de déficit hídrico. Para ello se escogió un árbol perteneciente a la variedad-población “Mollar de Elche” afectado por el tratamiento T2 y otro de la misma variedad afectado por el tratamiento testigo (T0). Este estudio se realizó por medio de la determinación directa del peso seco de raíces, obtenidas a través de la toma de muestras del suelo en varios puntos alrededor del árbol y diferentes profundidades, por medio del tubo Veihmeyer y por un proceso de separación.

Análisis de los datos

El análisis de resultados lo hemos realizado por comparación entre las medias obtenidas en las medidas efectuadas en cada uno de los controles descritos y para cada tratamiento de riego. Se realiza un ANOVA entre los tratamientos de riego deficitario establecidos y el tratamiento control.

Tabla 2. Incremento medio de diámetro (en mm) para tronco y ramas en cada tratamiento

| | T-0 | T-1 | T-2 | T-3 |
|--------|------|------|------|------|
| Tronco | 9,57 | 7,43 | 7,14 | 7,33 |
| Ramas | 5,81 | 4,38 | 5,02 | 4,33 |

Resultados y discusión

Relaciones agua-suelo

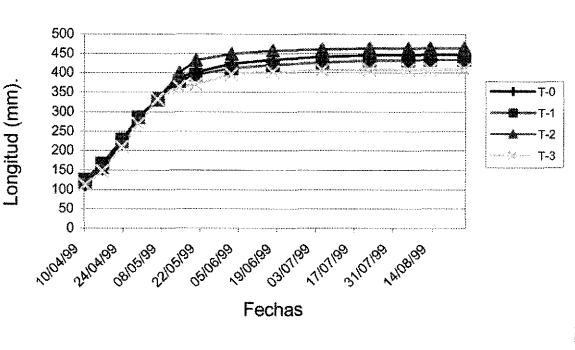
Los datos registrados a través de la lectura periódica de los tensiómetros indicaron que el tratamiento control (T0) mantuvo durante todo el experimento valores comprendidos entre -10 y -40 cb de potencial mátrico, tanto a 30 cm como a 60 cm de profundidad, al igual que el resto de tratamientos durante las fases de aplicación normal del riego (por lo que la disponibilidad de agua para la plantación era la adecuada). Sin embargo, en los períodos de supresión total de riego, en los tratamientos T1 y T3, estos valores descendieron sustancialmente, llegando a registrarse lecturas en torno a los -70 y -80 cb, reflejándose así el agotamiento de agua en el perfil del suelo. Para el caso del tratamiento T2 cuyo déficit fue del 50%, respecto al tratamiento control, sólo a 60 cm de profundidad se registraba una disminución de la humedad.

Un aspecto importante a destacar en este sentido es la naturaleza franco-arcillosa del suelo, pues las variaciones de humedad, sobre todo a 60 cm de profundidad, se desarrollaron de forma lenta. Esto es debido, por una parte, a la alta capacidad de retención hídrica por parte del suelo y por otra a una baja capacidad de infiltración, que hacía que la recarga del perfil una vez reanudado el riego se realizase lentamente. Este aspecto es importante a la hora de establecer estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC), y en este sentido Chalmers (1990) indica las ventajas que ofrecen los suelos con baja capacidad de retención de agua, puesto que su carga y descarga (como respuesta a las variaciones de riego establecidas) se realizará de forma inmediata.

Desarrollo vegetativo

En la Tabla 2 se observa la media de los incrementos de diámetro, tanto de tronco como de ramas principales, para cada uno de los tratamientos de riego establecidos. Se aprecia un menor incremento de diámetro en los tratamientos de riego deficitario, respecto al testigo.

Gráfico 1. Crecimiento en brotes



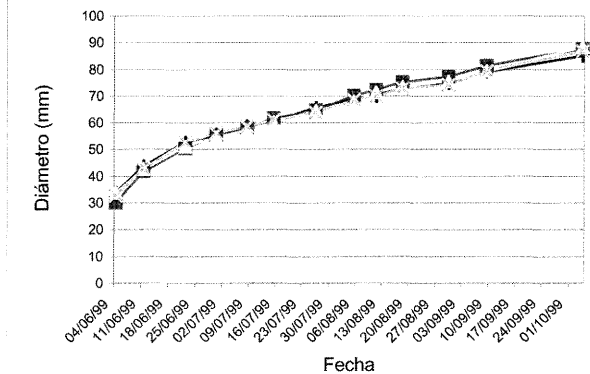
El Gráfico 1 muestra la evolución media de la longitud de brotes para cada tratamiento. Se aprecia como el tratamiento T3 resulta ligeramente afectado al someterse a una interrupción total del riego durante la fase crecimiento intenso de los brotes.

A la vista de estos resultados, se observa, aun con diferencias no significativas, que el crecimiento vegetativo puede resultar afectado por el establecimiento de diversos períodos de estrés, como ya advirtieron para el caso del melocotonero Veihmeyer (1975) y Atkinson (1980).

Desarrollo del fruto

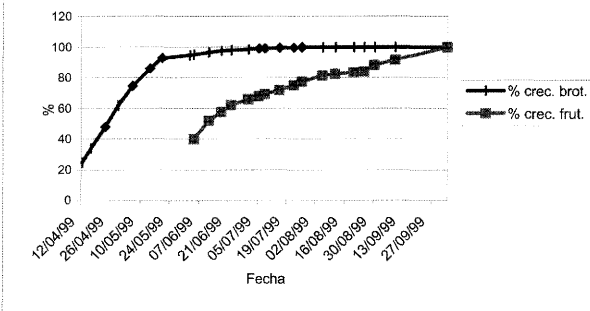
En el Gráfico 2 observamos cuál ha sido la evolución media del diámetro del fruto para cada tratamiento, en ella comprobamos que no existen diferencias significativas en los diferentes tratamientos ensayados, solamente al inicio de las medidas el tratamiento T1 presentaba un diámetro de los frutos ligeramente menor que el resto, debido a que éste se encontraba

Gráfico 2. Crecimiento del fruto



sometido a una supresión total del riego en aquel momento, pero una vez reanudadas las aplicaciones de agua (el diez de junio), los diámetros se igualaron a los del resto de tratamientos. No obstante, muchos autores indican que el déficit hídrico resulta más peligroso cuando se aplica en la última fase de desarrollo del fruto (próximo la maduración), ya que el crecimiento de éste es muy intenso y una situación de indisponibilidad de agua limitaría su tamaño. Esta circunstancia fue advertida por Chalmers *et al.* (1981) en melocotonero y por Sansavini y Giannerini (1991) en albaricoquero. En este experimento no hemos planteado ninguna situación de estrés durante el mencionado período.

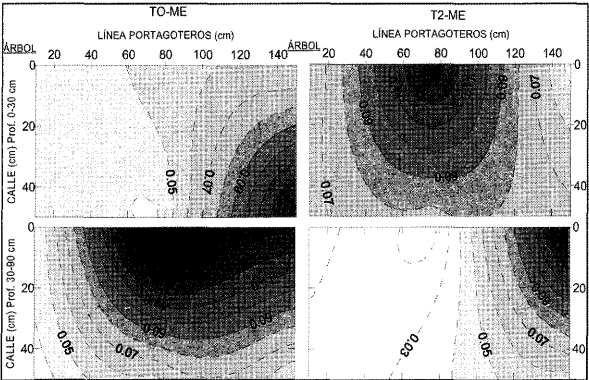
Gráfico 3. Nivel de coincidencia crecimiento de brotes-crecimiento del fruto



En el Gráfico 3 se observa que para el granado existe una clara separación entre los procesos de crecimiento de los brotes y de los frutos, ya que estos últimos inician su crecimiento cuando el 90% de los brotes han completado su desarrollo. En este sentido, este cultivo es tan favorable al establecimiento de estrategias de RDC como lo puede ser el peral y el meloco-

tonero (3), y como el limonero (12) iniciándose la fase más crítica del crecimiento de los frutos cuando se ha completado la casi totalidad del crecimiento de los ramos. El albaricoquero no está tan favorecido en este sentido, ya que al iniciar la fase III de crecimiento de fruto, sólo se ha completado el 70% del crecimiento de brotes (2).

Gráfico 4. Densidad radical



Desarrollo radicular

En la Figura 1 se representa la densidad radicular para dos árboles pertenecientes a la variedad-población “Mollar de Elche” (ME), afectado uno de ellos por el tratamiento T0 y otro por el tratamiento T2, los cuadros superiores representan una profundidad de 0-30 cm y los inferiores una profundidad comprendida entre 30 y 90 cm. Cada uno de ellos son representaciones de una sección horizontal de terreno comprendido entre las mencionadas profundidades, donde se aprecia la densidad radical a través de diferentes curvas y variación de intensidad de color.

Observamos en la Figura 1 como en el tratamiento T2 hay una mayor concentración de raíces en superficie y confinadas en un espacio más reducido de tierra, por lo que volúmenes más reducidos de suelo humectado motivan sistemas radicales más concentrados (7).

Tabla 3. Producción

| Tratamientos | Producción media (Kg/árbol) | Producción (t/ha) |
|--------------|-----------------------------|-------------------|
| T-0 | 24,08 | 20,06 |
| T-1 | 28,16 | 23,46 |
| T-2 | 29,24 | 24,36 |
| T-3 | 25,3 | 21,08 |

Producción

En la Tabla 3 se muestra la producción media por árbol para cada tratamiento de riego, además de una estimación de lo que esa producción hubiera significado para una hectárea de terreno, considerando un marco de 3x4 m.

Se observa que los tratamientos de riego deficitario han dado lugar a una mayor producción que el tratamiento control, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas

Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos cabe concluir que resulta muy interesante este tipo de ensayos para optimizar el uso del agua de riego en una zona tan deficitaria como es el Sureste español, y en un cultivo como el granado, que presenta una gran capacidad de adaptación a la escasez de agua.

Hemos comprobado que existe una clara separación entre los procesos de crecimiento de los brotes y de los frutos, por lo que podemos plantear períodos de supresión o reducción del riego durante el desarrollo de brotes y ramos, para dotar posteriormente a la planta de sus requerimientos hídricos durante la fase de crecimiento del fruto, ya que esta fase resulta muy sensible al estrés hídrico. Por otra parte se ha comprobado la disminución del crecimiento del tronco y ramas principales en sentido radial por comparación entre los tratamientos "estrés" y el testigo.

Se ha obtenido mayor producción en los tratamientos de Riego Deficitario Controlado (RDC), que en el tratamiento control, aunque de forma no significativa.

Los calibres de los frutos no muestran diferencias

estadísticamente significativas entre los tratamientos de RDC y el control.

Es preciso destacar que una reducción de los aportes hídricos en ciertos momentos puede llevar a una mayor concentración del sistema radical, en un volumen más reducido del bulbo húmedo, lo que nos puede permitir una mayor eficiencia en la aplicación localizada del agua.

Bibliografía

- (1) Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Hortic. Rev.*2: 424-490.
- (2) Bernal, J., 1994. Bases para el establecimiento de estrategias de riego deficitario en albaricoquero. TFC. EUITA. Orihuela.
- (3) Chalmers, D.J. 1990. Control del crecimiento de la planta por la regulación de los déficits de agua y la limitación de la zona de humectación. *Frut* 5: 369-375.
- (4) Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y Jerie, P.H. 1984. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Hortic.* 146: 143-149.
- (5) Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. y van Heek, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply tree density and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 307-312.
- (6) Goldhamer, D.A. 1989. Drought Irrigation Strategies for Deciduous Orchards. Cooperative Extension. University of California, Div. Agriculture and Natural Resources. Publication nº 21453, 15 pp.
- (7) Lampinen, B. D., Shackel, K. A., Southwick, S. M., Olson, B., Yeager, J. T., Goldhamer, D. 1995.

- Sensitivity of yield and fruit quality of french prune to water deprivation at different fruit growth stages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120: 139-147.
- (8) MAPA, 1999. Anuario de estadística agraria. Madrid.
- (9) Mitchell, P.D., Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1984. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109: 604-606.
- (10) Mitchell, P.D., van den Ende, B., Jerie, P.H. y Chalmers, D.J. 1989. Responses of "Barlett" pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 15-19.
- (11) Sansavini, S., Giannerini, G. F. 1991. Advances in apricot growing and management. *Acta Hortic.* 293: pp. 409-429.
- (12) Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R. y Hernández-Borroto, J. 1993. Regulated deficit irrigation on Fino Lemon trees. *Acta Hortic.* 335: 205-212.
- (13) Veihmeyer, F.J. 1975. The growth of fruit trees in response to different soil-moisture conditions measured by widths of annual rings, and other means. *Soil Science* 119: 448-460.
- (14) Vera J., 1990. Notas sobre el regadío de la Región de Murcia. Ed. CSIC. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Murcia. pp. 207.

Eficiencia y productividad del agua en la hortofruticultura murciana

■ *L. Avellá¹; P. Segura²; C. Martínez²*

1. UMH

2. CEBAS-CSIC

Introducción

El análisis de la productividad del agua reviste una indudable importancia en cualquier sistema agrario, pero mucho más en áreas con frecuentes déficits hídricos como es la Región Murciana. En España son escasos los estudios microeconómicos sobre la eficiencia del agua debido, probablemente, a la extrema dificultad y laboriosidad para conseguir los datos que permitan realizar un análisis detallado a nivel espacial y por orientaciones técnico-económicas (grupos de cultivos con cierto grado de homogeneidad). Si abundan, en cambio, estimaciones a nivel regional o de Cuenca Hidrográfica.

Los datos que presentamos proceden de una amplia encuesta a explotaciones dedicadas a la hortofruticultura en la Comunidad de Murcia y un posterior contraste con técnicos agrónomos de empresas del sector. Ello nos ha permitido estimar los costes y los ingresos de producción para cada especulación y comarca, no sólo en unidades monetarias sino también físicas.

El interés del trabajo que presentamos reside, en

nuestra opinión, no sólo en las cifras globales que presentamos sino también en la comparación tanto a nivel comarcal como entre tipos de producciones hortofrutícolas.

El coste del agua: una visión global

La Tabla 1 muestra los datos agregados del coste del agua para riego en las comarcas murcianas y el total regional, diferenciando los cultivos herbáceos de los leñosos. Por coste del agua entendemos todos los costes de su puesta a disposición del usuario (agua, energía y conservación y mantenimiento de las redes de canalización y regulación hasta la finca del usuario).

El coste expresado en pts/ha es el producto del consumo (m^3/Ha) por el coste del agua (pts/m^3). Si bien a nivel regional el coste del agua es similar para herbáceos y leñosos, las grandes diferencias en el consumo determinan costes por Ha muy distintos y, a la vez, notorias diferencias a nivel comarcal entre herbáceos y leñosos debidas al distinto origen del agua y/o sistema tarifario aplicado. Asimismo son notorias las diferen-

cias comarcales en el coste del agua, claramente inferiores en la Vega del Segura, Río Mula y Nor-oeste.

La Tabla 2 muestra los costes del agua para las dis-

tes totales de producción.

Al ser considerada el agua, al menos para la empresa agraria, como un factor de producción, resulta inte-

Tabla 1

| Comarcas | Pts/m³ | | Pts/Ha | | Consumos (m³/Ha) | |
|------------------|-----------|---------|-----------|---------|------------------|---------|
| | Herbáceos | Leñosos | Herbáceos | Leñosos | Herbáceos | Leñosos |
| Altiplano | 33,2 | 41,2 | 275.145 | 130.587 | 8.282 | 3.167 |
| Campo de | 35,3 | 32,0 | 290.267 | 201.770 | 8.230 | 6.301 |
| Cartagena | | | | | | |
| Noroeste | 31,3 | 25,7 | 244.809 | 131.839 | 7.815 | 5.133 |
| Río Mula | 29,5 | 29,3 | 241.401 | 172.386 | 8.196 | 5.878 |
| Valle Gualentín | 35,4 | 41,3 | 325.668 | 176.421 | 9.187 | 4.276 |
| Vega del Segura | 28,2 | 34,4 | 203.226 | 182.147 | 7.208 | 5.299 |
| Región de Murcia | 34,5 | 34,9 | 295.420 | 170.381 | 8.558 | 4.881 |

tintas OTEs de la Región, siendo los conceptos idénticos a los de la Tabla 1. La distinta ubicación de los cultivos determinan muy distintos costes del agua expresados en pta/m³ así como muy distintos consumos (fruto de las distintas exigencias de los cultivos, tipos de suelo, clima, etc.).

Los mayores costes, tanto por m³ como por Ha es

resante determinar su posición en el escandallo de costes. Para ello utilizaremos cuatro ratios expresados en tanto por cien:

– Costes variables del riego (agua, energía, conservación y mantenimiento) sobre costes directos (lo anterior más los costes de las materias primas: fitosanitarios, fertilizantes, etc). Columna (1).

Tabla 2

| OTEs | Pts/m³ | Pts/Ha | m³/Ha |
|------------------------|--------|-----------|--------|
| Viñedo vinificación | 36,9 | 59.741 | 1.619 |
| Viñedo uva de mesa | 33,8 | 183.727 | 5.443 |
| Olivar | 15,1 | 22.824 | 1.514 |
| Frutales pepita | 51,3 | 262.185 | 5.108 |
| Frutales hueso | 27,2 | 160.478 | 5.892 |
| Frutales cáscara | 59,5 | 145.200 | 2.441 |
| Cítricos | 37,3 | 213.168 | 5.720 |
| Otros cultivos | 25,5 | 181.612 | 7.134 |
| Hortalizas invernadero | 68,2 | 445.313 | 6.528 |
| Hortalizas aire libre | 31,5 | 287.382 | 9.122 |
| Flores | 68,2 | 1.609.235 | 23.589 |
| Cultivos industriales | 25,5 | 211.835 | 8.308 |

soportado por las flores (con un gran consumo por Ha), pero también son muy altos en hortalizas de invernadero y frutales de cáscara y pepita.

Coste del agua en el marco de la estructura de cos-

– Costes variables riego/costes variables totales (materias primas, agua, trabajo, maquinaria y otros). Columna (2).

– Costes fijos riego (Costes del capital de explota-

ción utilizados para el riego)/Costes fijos totales (Capital territorial y capital de explotación). Columna (3).

– Costes totales riego/Costes totales de producción. Columna (4).

La Tabla 3 muestra los ratios por comarcas diferenciando los leñosos de los herbáceos. Nótese, en primer lugar, que las diferencias comarcales que se apreciaban en la Tabla 1 se relativizan, especialmente en los cultivos herbáceos, con costes del riego en torno al 30% de los costes directos y el 14% de los costes totales; pero también en los leñosos, en torno al 48% de los costes directos y el 19% de los totales. En todo caso, destaca claramente el mayor porcentaje que suponen los costes del riego en la comarca del Campo de Cartagena.

Reiteramos las cifras totales: los costes del riego suponen entre el 14 y el 19% de los costes de producción. Estas cifras permiten ubicar en sus justos términos “el problema del agua” en la Región: es un factor de producción que destaca por su escasez pero su incidencia en los costes de producción no puede calificarse de alarmante a nivel global si bien tendría muy distintos efectos según OTEs y comarcas (la más sensible sería el Campo de Cartagena). En todo caso un aumento del precio del agua (en sentido estricto) tendría mucha repercusión en los costes del riego pues el coste estricto del agua representa el 72% de los costes totales del riego en los cultivos

herbáceos y el 67% en leñosos. En otras palabras, un incremento del precio del agua del 20% repercutiría en un aumento del coste de producción en los cultivos herbáceos de la Región del 2% y del 2,5% en los leñosos.

La Tabla 4 muestra los anteriores ratios para las OTEs de leñosos y de herbáceos, mostrando que la repercusión de los costes del riego sobre los costes de producción es muy diferente por grupos de cultivos y por tanto el impacto que tendría en los costes de producción una variación de los costes del riego. Los costes del riego son muy bajos en olivar, flores y hortalizas en invernadero (estos dos cultivos son los que mayor coste por Ha soportan) y altos en frutales de cáscara, cultivos industriales y cítricos. Siguiendo con nuestro supuesto de incremento del 20% del precio del agua, en cítricos supondría un incremento del 3,2% de los costes de producción; incrementos de ese orden se producirían en frutales de cáscara, cultivos industriales y otros cultivos herbáceos. Sin embargo, el incremento de costes de producción en flores, hortalizas de invernadero y olivar serían en torno al 1%.

Nos ahorramos los comentarios sobre el peso de los costes del riego (variables y fijos) sobre los costes variables y fijos de producción que se deducen directamente de las cifras contenidas en las tablas.

Tabla 3

| Comarcas | Leñosos | | | | Herbáceos | | | |
|-----------------------|---------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Altiplano | 45,7 | 17,5 | 19,2 | 17,9 | 32,4 | 13,2 | 17,4 | 13,7 |
| Campo de Cartagena | 50,4 | 26,0 | 19,1 | 24,0 | 31,0 | 14,6 | 17,9 | 15,1 |
| Noroeste | 49,7 | 16,3 | 11,9 | 15,3 | 31,9 | 12,3 | 19,5 | 13,4 |
| Rio Mula | 50,2 | 18,3 | 15,7 | 17,7 | 22,8 | 12,2 | 17,6 | 12,8 |
| Valle del Guadalentín | 49,1 | 22,4 | 15,5 | 20,7 | 30,0 | 12,8 | 16,0 | 13,3 |
| Vega del Segura | 48,0 | 19,1 | 18,5 | 19,0 | 26,1 | 12,5 | 16,5 | 12,9 |
| Región de Murcia | 48,3 | 19,7 | 17,5 | 19,2 | 30,2 | 13,4 | 16,9 | 13,8 |

Tabla 4

| OTEs Leñosos | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Viñedo vinificación | 38,1 | 16,8 | 18,8 | 17,5 |
| Viñedo uva de mesa | 36,0 | 12,4 | 13,8 | 12,7 |
| Olivar | 18,5 | 6,5 | 3,9 | 6,1 |
| Frutales pepita | 50,7 | 15,1 | 26,8 | 17,9 |
| Frutales hueso | 47,5 | 14,7 | 16,9 | 15,2 |
| Frutales cáscara | 61,8 | 33,7 | 0,0 | 27,0 |
| Cítricos | 49,0 | 25,5 | 20,4 | 23,9 |
| OTEs Herbáceos | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Otros cultivos | 44,6 | 21,3 | 30,7 | 23,1 |
| Hortalizas invernadero | 22,2 | 6,7 | 13,5 | 8,0 |
| Hortalizas aire libre | 34,0 | 17,0 | 22,7 | 17,5 |
| Flores | 11,8 | 6,0 | 7,4 | 6,2 |
| Cultivos industriales | 52,6 | 26,4 | 4,0 | 24,0 |

Productividad del agua en términos económicos

Tras analizar los costes del riego en el marco de los costes de producción, analizaremos la productividad del agua tanto a nivel comarcal como para las principales OTEs. El análisis se realizará mediante dos indicadores: unidades monetarias generadas por unidad física de agua aplicada (m^3) y por unidad monetaria de coste del agua.

Utilizaremos las siguientes magnitudes (cuya definición recordamos sucintamente) expresadas en pesetas:

– Producción Final: Producción Bruta menos reempleo.

– Valor Añadido Bruto a coste de factores (VABcf): Producción Final menos consumos intermedios y subvenciones.

– Valor Añadido Neto a coste de factores (VANcf): VABcf menos amortizaciones.

– Disponibilidades Empresariales: VANcf menos costes salariales externos y arrendamientos.

– Producción Bruta: Valor de la producción a precios de mercado.

– Margen Bruto Total: Producción Bruta menos costes directos (materias primas y agua), costes variables de la maquinaria propia, costes de la maquinaria externa y del trabajo externo.

– Margen Neto: Margen Bruto Total menos seguros y arrendamientos.

– Beneficio Neto: Margen Neto menos costes imputados en concepto de renta de la tierra y mano de obra familiar.

La Tabla 5 muestra para las comarcas murcianas, diferenciando los cultivos herbáceos de los leñosos, la productividad por m^3 de agua aplicada.

A nivel regional 1 m^3 de agua supone un incremento de la producción final de 358.9 pesetas en los cultivos herbáceos y de 270.1 ptas en los leñosos (casi un 33% más en herbáceos); unas disponibilidades empresariales de 129 pts en herbáceos y 101.9 pts en leñosos y un beneficio neto de 109.3 pts en herbáceos y 90.2 pts en leñosos.

A nivel comarcal, los ratios indicadores de la productividad física del agua son menores en los herbáceos de las comarcas de Río Mula, Campo de Cartagena y Vega del Segura y en los leñosos de Campo de Cartagena, Noroeste y Valle del Guadalentín.

La Tabla 6 muestra las mismas magnitudes de la tabla anterior para las principales OTEs murcianas.

Es de resaltar, como era de esperar, las grandes diferencias de la productividad física del agua según los tipos de cultivo. La mayor producción final por m^3 de agua se alcanza en hortalizas de invernadero y flores y las menores en otros cultivos herbáceos, herbá-

Tabla 5

| | P. Final. | | VABcf | | VANcf | | Dispo. Emp. | |
|--------------------|-----------|-------|-----------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. |
| Altiplano | 331,5 | 356,5 | 241,8 | 234,2 | 187,6 | 209,7 | 122,3 | 124,9 |
| Campo de Cartagena | 197,5 | 301,5 | 141,2 | 167,9 | 103,7 | 145,2 | 66,9 | 82,8 |
| Noroeste | 228,0 | 366,2 | 168,8 | 251,5 | 132,9 | 223,8 | 78,2 | 146,4 |
| Rio Mula | 248,7 | 246,8 | 190,9 | 102,5 | 151,4 | 85,6 | 99,2 | 62,6 |
| Valle Guadalentín | 272,0 | 409,0 | 189,2 | 271,4 | 145,0 | 244,5 | 90,1 | 164,4 |
| Vega del Segura | 280,6 | 280,0 | 213,3 | 159,1 | 171,3 | 137,9 | 112,5 | 90,6 |
| Región de Murcia | 270,1 | 358,9 | 200,4 | 225,4 | 157,9 | 200,4 | 101,9 | 129,0 |
| | P.Bruta. | | MargenBT. | | Margen Net. | | B°.Neto. | |
| | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. |
| Altiplano | 337,7 | 356,5 | 201,0 | 161,4 | 168,3 | 131,0 | 107,4 | 114,4 |
| Campo de Cartagena | 198,5 | 301,5 | 109,0 | 115,3 | 96,6 | 87,6 | 65,2 | 67,2 |
| Noroeste | 231,8 | 366,3 | 129,6 | 184,9 | 110,3 | 152,0 | 64,1 | 133,3 |
| Rio Mula | 249,3 | 246,8 | 147,3 | 86,3 | 128,6 | 68,2 | 83,5 | 15,9 |
| Valle Guadalentín | 276,3 | 409,0 | 149,3 | 203,2 | 126,9 | 170,1 | 77,1 | 141,9 |
| Vega del Segura | 281,9 | 282,9 | 165,4 | 122,2 | 144,3 | 94,8 | 100,8 | 64,4 |
| Región de Murcia | 272,5 | 358,9 | 156,9 | 165,0 | 135,6 | 134,3 | 90,2 | 109,3 |

Tabla 6

| | P.F. | VABcf | VANcf | DE | PB | MBT | MN | BN |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Viñedo vinificación | 253,8 | 173,2 | 100,0 | 66,0 | 254,9 | 149,6 | 115,5 | 44,4 |
| Viñedo uva mesa | 352,1 | 264,4 | 226,1 | 146,1 | 352,9 | 200,8 | 163,6 | 87,2 |
| Olivar | 141,3 | 8,1 | -19,1 | -147,1 | 190,6 | -19,6 | -31,8 | -54,9 |
| Frut. pepita | 474,8 | 361,4 | 299,4 | 216,7 | 488,8 | 332,5 | 278,3 | 202,5 |
| Frut. hueso | 287,9 | 229,4 | 193,2 | 128,4 | 288,4 | 177,4 | 153,7 | 109,1 |
| Frut. cáscara | 226,7 | 108,7 | 65,3 | 27,0 | 243,1 | 104,0 | 81,9 | 22,5 |
| Cítricos | 238,4 | 174,5 | 128,4 | 84,0 | 238,4 | 133,0 | 119,0 | 82,6 |
| Otros cultivos | 142,6 | 75,5 | 60,2 | 37,3 | 142,6 | 57,8 | 41,8 | 32,4 |
| Hortal.invernadero | 1626,1 | 1279,5 | 1150,3 | 850,4 | 1626,1 | 1011,5 | 864,9 | 773,7 |
| Hortalizas aire libre | 220,0 | 113,0 | 100,5 | 47,9 | 220,0 | 68,1 | 52,4 | 40,1 |
| Herbáceos | 40,9 | 20,7 | 11,3 | 4,7 | 44,7 | 23,0 | 21,5 | -1,1 |
| Flores | 1097,9 | 443,0 | 352,0 | 351,1 | 1097,9 | 500,9 | 352,7 | -7,1 |
| Cultivos industrial | 89,4 | 8,7 | 6,6 | -10,2 | 89,4 | 1,5 | -9,7 | -16,8 |

Tabla 7

| | P. Final | | VABcf | | VANcf | | Dispo. Emp. | |
|-----------------------|----------|-------|-----------|-------|------------|-------|-------------|-------|
| | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. |
| Altiplano | 8,0 | 10,7 | 5,9 | 7,1 | 4,5 | 6,3 | 3,0 | 3,8 |
| Campo de Cartagena | 6,2 | 8,5 | 4,4 | 4,8 | 3,2 | 4,1 | 2,1 | 2,3 |
| Noroeste | 8,9 | 11,7 | 6,6 | 8,0 | 5,2 | 7,1 | 3,0 | 4,7 |
| Rio Mula | 8,5 | 8,4 | 6,5 | 3,5 | 5,2 | 2,9 | 3,4 | 2,1 |
| Valle del Guadalentín | 6,6 | 11,5 | 4,6 | 7,7 | 3,5 | 6,9 | 2,2 | 4,6 |
| Vega del Segura | 8,2 | 9,9 | 6,2 | 5,6 | 5,0 | 4,9 | 3,3 | 3,2 |
| Región de Murcia | 7,7 | 10,4 | 5,7 | 6,5 | 4,5 | 5,8 | 2,9 | 3,7 |
| | P. Bruta | | Margen BT | | Marg. Net. | | Bº. Neto | |
| | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. | Leñ. | Herb. |
| Altiplano | 8,2 | 10,7 | 4,9 | 4,9 | 4,1 | 3,9 | 2,6 | 3,4 |
| Campo de Cartagena | 6,2 | 8,5 | 3,4 | 3,3 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,9 |
| Noroeste | 9,0 | 11,7 | 5,0 | 5,9 | 4,3 | 4,9 | 2,5 | 4,3 |
| Rio Mula | 8,5 | 8,4 | 5,0 | 2,9 | 4,4 | 2,3 | 2,8 | 0,5 |
| Valle del Guadalentín | 6,7 | 11,5 | 3,6 | 5,7 | 3,1 | 4,8 | 1,9 | 4,0 |
| Vega del Segura | 8,2 | 10,0 | 4,8 | 4,3 | 4,2 | 3,4 | 2,9 | 2,3 |
| Región de Murcia | 7,8 | 10,4 | 4,5 | 4,8 | 3,9 | 3,9 | 2,6 | 3,2 |

Tabla 8

| | PF | VABcf | VANcf | DE | PB | MBT | MN | BN |
|------------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Viñedo vinificación | 6,9 | 4,7 | 2,7 | 1,8 | 6,9 | 4,1 | 3,1 | 1,2 |
| Viñedo uva de mesa | 10,4 | 7,8 | 6,7 | 4,3 | 10,5 | 5,9 | 4,8 | 2,6 |
| Olivar | 9,4 | 0,5 | -1,3 | -9,8 | 12,6 | -1,3 | -2,1 | -3,6 |
| Frut. pepita | 9,3 | 7,0 | 5,8 | 4,2 | 9,5 | 6,5 | 5,4 | 3,9 |
| Frut. hueso | 10,6 | 8,4 | 7,1 | 4,7 | 10,6 | 6,5 | 5,6 | 4,0 |
| Frut. cáscara | 3,8 | 1,8 | 1,1 | 0,5 | 4,1 | 1,7 | 1,4 | 0,4 |
| Cítricos | 6,4 | 4,7 | 3,4 | 2,3 | 6,4 | 3,6 | 3,2 | 2,2 |
| Otros cultivos | 5,6 | 3,0 | 2,4 | 1,5 | 5,6 | 2,3 | 1,6 | 1,3 |
| Hortalizas invernadero | 23,8 | 18,8 | 16,9 | 12,5 | 23,8 | 14,8 | 12,7 | 11,3 |
| Hortalizas aire libre | 7,0 | 3,6 | 3,2 | 1,5 | 7,0 | 2,2 | 1,7 | 1,3 |
| Flores | 16,1 | 6,5 | 5,2 | 5,1 | 16,1 | 7,3 | 5,2 | -0,1 |
| Cultivos industriales | 3,5 | 0,3 | 0,3 | -0,4 | 3,5 | 0,1 | -0,4 | -0,7 |

ceos, cultivos industriales olivar y frutales de cáscara. Los beneficios netos se vuelven negativos (pérdidas) en olivar, cultivos industriales, flores y herbáceos. En todo caso, las cifras que presentamos invitan a reflexionar sobre el destino de la escasa agua disponible en la Cuenca del Segura por grupos de cultivo y los resultados que derivarían de un hipotético mercado de aguas, dada la muy distinta capacidad de retribuir el m³ en cada comarca y cada OTE. En todo caso cuestiona los estudios a “gran escala”, por Cuencas Hidrográficas, dada la enorme diferencia intraregional, por

comarcas y OTEs. Indudablemente el problema se complicaría si ampliáramos el análisis al conjunto de sectores y no sólo al sector agrario, pues todo parece indicar que los sectores no agrarios tienen mayor capacidad para pagar el m³ de agua que el agrario.

La Tabla 7 muestra las magnitudes de las tablas anteriores por unidad monetaria de coste del riego, en vez de unidades físicas como reflejaban las dos tablas anteriores. Su interpretación es obvia a efectos de comparación: las comarcas que presentan un mayor ratio son las que tienen una mayor disposición a pagar por

el uso del agua, con la actual estructura de costes, productividades del resto de factores de producción y precios de los productos.

Al igual que sucedía en la Tabla 5 todas las productividades son positivas y la variabilidad es mucho menor que en la Tabla 5: la varianza de la producción final por m³ es 3.640 y por unidad monetaria del coste del agua es 3,02. En todo caso puede afirmarse que las diferencias en la productividad física del agua se compensan, parcialmente, con los distintos costes comarcales del riego permitiendo alcanzar productividades monetarias parecidas, que son desde el punto de vista empresarial las que interesan, aunque no necesariamente desde el punto de vista social al no considerar ni las externalidades ni las subvenciones no explícitas. La producción final por peseta de coste del riego es en la Región Murciana de 7,7 pts en los cultivos leñosos y de 10,4 pts en los cultivos herbáceos. La mayor productividad, en relación a la producción final, se alcanza en la comarca del Noroeste y la menor, en herbáceos, en el Campo de Cartagena, si bien no son muy grandes las diferencias, en torno al 15% como máximo respecto a la media. Si consideramos la productividad en términos del beneficio neto los resultados regionales son de 2,6 pts en leñosos y 3,2 pts en herbáceos. En general los cultivos herbáceos alcanzan una mayor productividad del agua que los leñosos, con la excepción de la comarca de Río Mula y, en algunos ratios, la Vega del Segura.

Por tanto a nivel espacial (comarcal) no parece que sean graves las diferencias de productividad y, desde una perspectiva de libre mercado (pero manteniendo los costes actuales del riego), y aceptando los postulados marginalistas, no tendrían sentido económico posibles redistribuciones comarcales del agua para el regadío.

La Tabla 8 recoge las mismas magnitudes de la Tabla 6 por unidad monetaria de coste del agua. Los resultados son radicalmente distintos a los que obtuvimos al realizar el análisis comarcal: las diferencias de productividad por OTEs son muy grandes. La mayor

productividad, en todos los ratios, se alcanza en las hortalizas de invernadero (por tanto tienen una mayor disposición para pagar el agua). Algunos ratios son negativos (pérdidas) para algunas OTEs, como olivar, cultivos industriales y, en el beneficio neto, flores. Por tanto, sería deseable una redistribución del agua entre cultivos para maximizar el bienestar social.

Por último, el contraste entre las cifras a nivel comarcal y por OTEs parece indicar una dicotomía de la productividad del agua a nivel comarcal, coexistiendo, en cada comarca, cultivos con alta y con baja productividad.

Conclusiones

Los análisis de productividad del agua usuales, a nivel regional o de cuenca hidrográfica, enmascaran profundas diferencias comarcales y por tipos de cultivos (OTEs). Por tanto, parece útil que en la planificación hidrológica se introduzcan estas variables, tanto a nivel de consumos unitarios como en sus distintas productividades.

El componente mayor de los costes del riego, como es lógico, es el coste del agua (72% en herbáceos y 67% en leñosos). Los costes del riego suponen un porcentaje de los costes totales de producción en torno al 15-20%.

Los costes del riego son muy distintos tanto a nivel comarcal como por tipos de cultivos, fruto de los distintos sistemas tarifarios, disponibilidad del agua, sistemas de riego y procedencia del agua. El coste medio para la Región de Murcia se sitúa en torno a las 35 pts/m³ con máximo en torno a las 41 y mínimo en torno a las 26 a nivel comarcal y máximos de 68,2 para flores y hortalizas de invernadero (que requieren una gran inversión en equipos de riego) y mínimo de 15,1 pts/m³ en olivar.

El porcentaje que representan los costes del riego en los costes totales de producción (19,2% en leñosos y 13,8% en herbáceos) son bastante similares a nivel comarcal (en leñosos oscilan entre el 15,3% en Nor-

oeste y el 24% en Campo de Cartagena y en herbáceos entre el 12,8% en Río Mula y el 15,1% en Campo de Cartagena) pero muy distintos para las OTEs (en torno al 6-8% para olivar, flores y hortalizas de invernadero y 24% para cultivos industriales y frutales de cascara).

La productividad física del agua (pts/m³) es, a nivel regional y referida a la producción final, de 359 para herbáceos y 270 pts/m³ para leñosos con diferencias comarcales claramente menores que las que se dan entre OTEs (1.626 para hortalizas de invernadero y menos de 100 pts/m³ para cultivos industriales y herbáceos general).

Por tanto a nivel espacial (comarcal) no parece que sean graves las diferencias de productividad y, desde una perspectiva de libre mercado no tendrían sentido económico posibles redistribuciones comarcales del agua para el regadío. Los resultados son radicalmente distintos al realizar el análisis por OTEs, al tener una gran variabilidad. La mayor productividad, en todos los ratios, se alcanza en las hortalizas de invernadero y algunos ratios son negativos para algunas OTEs. Por tanto, sería deseable una redistribución del agua entre cultivos.

Influencia del estrés hídrico sobre el crecimiento y fisiología de especies frutales del “cerrado central brasileño”

▮ **Valeria Cristina Guimaraes Rabelo**

Biología General. Universidade Federal de Goiás. Goiânia (Brasil)

▮ **Luiz Fernando Coutinho de Oliveira**

Escola de Agronomia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia (Brasil)

▮ **M^a. Carmen Ruiz Sánchez**

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CSIC. Murcia - España

▮ **Rafael Domingo Miguel; Manuel Ruiz Marín; Alejandro Pérez Pastor**

Universidad Politécnica de Cartagena

El cerrado central brasileño se encuentra enclavado en una cuenca hidrológica que hasta hace unos años era considerada excedentaria, sin embargo, el cambio climático originado por el “Niño” la ha convertido en deficitaria, al menos durante un período de 5 meses al año [1]. Así aunque la actividad agrícola en esta zona se concentra durante el período lluvioso, la deficiencia hídrica en la estación seca es uno de los factores limitantes para el desarrollo de una agricultura intensiva en los cerrados.

El ensayo se realizó durante el otoño de 1997 en un área propia de ‘cerrado’, en una parcela experimental de la Escuela de Agronomía de la Universidade Federal de Goiás, perteneciente al Estado de Goiás, de aproximadamente 2.000 m² de superficie, situada a 730 m de altitud, y de coordenadas geográficas 16° de latitud Sur y 49° de longitud Oeste. En ella se seleccionaron 3 especies arbóreas (*Eugenia desynerica*, *Annona crassiflora* y *Cariocar brasiliense*) y 1 arbustiva (*Campomanesia* sp).

El período de ensayo se inició el 12 de octubre, coincidiendo con el final de la estación seca (ausencia de lluvias) y se extendió hasta el 17 de noviembre. Con

el comienzo de la estación húmeda las lluvias fueron incrementándose en frecuencia y cantidad (Tabla 1). Durante el período experimental la temperatura media de las máximas y mínimas diarias fue de 32.4 °C y 17.5 °C, respectivamente y la humedad relativa media de las máximas y mínimas diarias fue del 93.5% y 34.9%, respectivamente. La velocidad del viento medida a 2 metros de altura fue de 3.85 km h⁻¹ y la lámina de agua evaporada en cubeta clase A, rodeada de hierba fue de 5.94 mm d⁻¹. El déficit de presión de vapor (DPV) se calculó a partir de las temperaturas seca y húmeda, obtenidas con un psicrómetro de bulbo seco y húmedo. Los niveles de DPV a mediodía oscilaron en torno a 3 kPa durante el período experimental (Tabla 1).

En la parcela experimental, de suelo arcilloso y densidad aparente de 1.20 g cm⁻³, se determinó, al inicio y final del período de estudio, el contenido de agua en el suelo.

En planta se midió el potencial hídrico foliar a mediodía (Ymd) con una cámara de presión (Soil Moisture Equip. Corp., mod. 3.000). Las hojas, una vez colocadas en bolsas de plástico, fueron separadas

del árbol e introducidas en la cámara, siguiendo las recomendaciones de Turner [6]. La resistencia estomática (Rs) se determinó con un porómetro de estado estacionario (LI-1600, Licor Inc. Lincoln, USA), sobre la superficie abaxial de las mismas hojas que después eran utilizadas para la medida de Ymd. Las medidas de Ymd y Rs se realizaron semanalmente en 2 hojas por árbol, de 3 árboles seleccionados por especie, situadas en el tercio medio del árbol y en la orientación sur. Para evaluar el crecimiento vegetativo se midió al final del ensayo el perímetro del tronco a 30 cm del suelo, en tres árboles de cada especie, comparando estas medidas con las realizadas a comienzo de año.

La concentración de los elementos nutritivos a nivel foliar se determinó en dos fechas, una al comienzo y otra al final del ensayo, en los que se escogieron 30 hojas por árbol en 3 árboles por especie estudiada. Los métodos utilizados para el análisis foliar fueron los propuestos por el Comité Inter-Institutos [3]. Los resultados obtenidos se expresaron en porcentaje sobre materia seca para los macronutrientes y en partes por millón para los micronutrientes (Tabla 2).

La humedad volumétrica media al final del período seco fue del 22% para los primeros 75 cm de suelo, pasando al 33% durante el período lluvioso.

La Figura 1 muestra los valores de potencial hídrico foliar (Ymd) y la resistencia estomática (Rs) en 3 momentos del ensayo: 15 de octubre (287), al final del período seco, 22 de octubre (294), tras unas ligeras precipitaciones, y 17 de noviembre (320), al final del período de estudio. Las especies *Campomanesia* sp y *Eugenia desynerica* respondieron de forma clara al cambio del estado hídrico del suelo originado por las lluvias, incrementando su Ymd en 0.69 y 0.45 MPa y disminuyendo su Rs en 2.8 y 4.83 s cm⁻¹. Los incrementos en los valores del Ymd experimentados por *Annona crassiflora* y *Cariocar brasiliense* fueron menores en valor absoluto, cifrándose en 0.11 y 0.19 MPa, mientras que Rs disminuyó en 1.24 y 1.91 s cm⁻¹, respectivamente.

En cuanto a la relación entre Ymd y Rs para las

cuatro especies estudiadas y por días de medida se caracterizó por una cierta dispersión atribuible a que los estomas, además de responder al estado hídrico de la planta, lo hacen a un complejo número de factores ambientales [5].

El comportamiento estomático de las cuatro especies estudiadas muestra una gran sensibilidad al estrés hídrico, quedando asociados los niveles más altos de Rs y los menores potenciales hídricos con un grado mayor de déficit hídrico. Este comportamiento permite un control de las pérdidas de agua vía transpiración [4], a través de la regularización estomática [2].

El crecimiento de la sección del tronco durante 1997 (enero a noviembre) fue muy superior en *Annona crassiflora* y *Cariocar brasiliense* que en *Campomanesia* sp y *Eugenia desynerica* con incrementos de 36.4, 66.9, 0.1 y 4.9 cm², respectivamente. Las mayores tasas de crecimiento vegetativo de las dos primeras especies coincidió con niveles de resistencia estomática menores y potenciales hídricos foliares superiores y más constantes.

El hecho de la mayor sensibilidad relativa de los estomas de *Annona crassiflora* y *Cariocar brasiliense* a condiciones que favorecen la transpiración, el mantenimiento de potenciales hídricos foliares y conductancias estomáticas superiores unido al crecimiento en diámetro del tronco sugiere una mejor adaptación de estas dos especies a condiciones xerofíticas.

Los niveles de los distintos elementos, para las 2 fechas de muestreo, fueron muy similares en las 4 especies estudiadas, observándose un desequilibrio nutricional. Los altos niveles de N van asociados con unos niveles muy bajos de P, K y Ca. En la segunda fecha de muestreo, con un mayor contenido de agua en el suelo, se produjo un aumento del N y Ca en hoja con la consiguiente disminución del P, K, Mg y Fe, siendo esta conducta muy similar en las 4 especies estudiadas.

Agradecimientos

Los autores quieren expresar su agradecimiento a

todos los miembros de la Escola de Agronomia de la UFG de Goiânia, y en especial al Prof. V. A. Gonçalves por su inestimable colaboración. Este trabajo es fruto de una beca del Programa de Cooperación Interuniversitaria de la Universidad de Murcia otorgada a A. Pérez-Pastor.

Bibliografía

[1] Assad, E. D., Sano, E., Masutomo, R. 1993. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de dados pluviométricos. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistema de informações geográficas-Aplicações na agricultura. Brasília, EMBRAPA-CPAC: 200-227.

[2] Castel, J.R. y Fereres, E. 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. Journal of Horticultural Science 57: 175-187.

[3] C.I.I. Comité Inter-Institutos para el estudio de técnicas analíticas. 1969. Métodos de referencia para la determinación de elementos minerales en vegetales. Anales de Edafología y Agrobiología 38: 403-409.

[4] Savé, R. y Adillón, J. 1990. Comparison between plant water relations of in vitro plants and rooted cuttings of kiwi fruit. Acta Horticulturae 282: 193-197.

[5] Schulze, E.D. y Hall, A.E. 1982. Stomatal responses, water loss and CO2 assimilation rates of plants in contrasting environments. En: Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation. Vol. 12B: 181-230.

[6] Turner, N.C. 1988. Measurement of plant water status by the pressure chamber technique. Irrigation Science 9: 289-308.

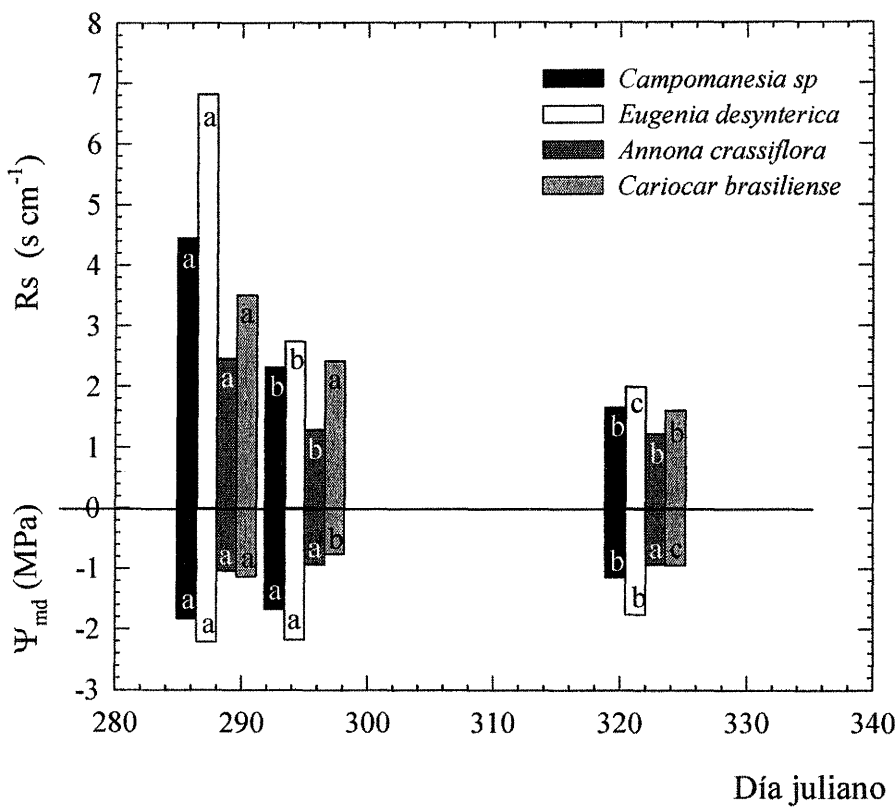


Figura 1. Potencial hídrico foliar a mediodía (Ymd) y resistencia estomática (Rs) para tres días de medida (288, 295 y 322). Las medias, de cada parámetro, seguidas de letras distintas son estadísticamente diferentes según el test de Duncan (P < 0.05), considerando separadamente cada especie.

Tabla 1

Valores diarios de déficit de presión de vapor (DPV) a mediodía y distribución de lluvias durante el período experimental (1997)

| Día | DPV (kPa) | Precipitación (mm) |
|-----|-----------|--------------------|
| 288 | 5.11 | 0.0 |
| 289 | 3.12 | 0.0 |
| 290 | 2.73 | 0.4 |
| 291 | 2.61 | 0.0 |
| 292 | 2.85 | 4.2 |
| 293 | 2.65 | 1.8 |
| 294 | 1.39 | 0.0 |
| 295 | 2.48 | 8.9 |
| 296 | 2.59 | 15.9 |
| 297 | 1.80 | 0.0 |
| 298 | 2.90 | 0.0 |
| 299 | 1.68 | 3.4 |
| 300 | 3.27 | 46.2 |
| 301 | 3.89 | 0.0 |
| 302 | 3.92 | 0.0 |
| 303 | 2.95 | 30.5 |
| 304 | 2.76 | 14.9 |
| 305 | 1.89 | 0.6 |
| 306 | 2.00 | 5.4 |
| 307 | 2.97 | 0.0 |
| 308 | 2.43 | 0.0 |
| 309 | 2.79 | 0.0 |
| 310 | 2.85 | 0.0 |
| 311 | 2.27 | 0.0 |
| 312 | 2.59 | 5.2 |
| 313 | 3.08 | 0.0 |
| 314 | 2.03 | 0.0 |
| 315 | 1.54 | 13.3 |
| 316 | 2.13 | 26.0 |
| 317 | 2.13 | 1.2 |
| 318 | 1.50 | 0.3 |
| 319 | 1.38 | 17.2 |
| 320 | 1.62 | 13.8 |
| 321 | 2.08 | 0.3 |

Tabla 2
Concentración de nutrientes en hoja para las 4 especies estudiadas al inicio y al final del ensayo.
Los valores corresponden a la media \pm error estándar

| Día | Nutriente | Especie | | | |
|--------------|-----------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | | <i>Campomanesia sp</i> | <i>Eugenia desynerica</i> | <i>Annona crassiflora</i> | <i>Cariocar brasiliense</i> |
| 15 Octubre | N (%) | 5.46 \pm 0.01 | 5.12 \pm 0.02 | 5.25 \pm 0.02 | 5.48 \pm 0.05 |
| | P (%) | 0.09 \pm 0.003 | 0.08 \pm 0.002 | 0.092 \pm 0.003 | 0.086 \pm 0.002 |
| | K (%) | 1.32 \pm 0.09 | 1.18 \pm 0.13 | 1.33 \pm 0.04 | 0.90 \pm 0.18 |
| | Ca (%) | 0.58 \pm 0.03 | 0.90 \pm 0.14 | 0.45 \pm 0.01 | 0.50 \pm 0.05 |
| | Mg (%) | 0.34 \pm 0.05 | 0.29 \pm 0.01 | 0.25 \pm 0.02 | 0.31 \pm 0.01 |
| | Zn (ppm) | 32.0 \pm 3.49 | 19.5 \pm 1.50 | 28.5 \pm 1.99 | 10.1 \pm 2.63 |
| | Fe (ppm) | 622.5 \pm 57.3 | 432.5 \pm 47.3 | 505.0 \pm 59.8 | 560.0 \pm 43.2 |
| | Mn (ppm) | 51.5 \pm 13.4 | 20.0 \pm 9.95 | 22.5 \pm 7.47 | 23.3 \pm 8.34 |
| | Cu (ppm) | 14.0 \pm 0.50 | 5.0 \pm 0.99 | 17.8 \pm 0.25 | 5.83 \pm 0.60 |
| 17 Noviembre | N (%) | 7.76 \pm 0.02 | 6.95 \pm 0.16 | 6.85 \pm 0.56 | 5.44 \pm 0.17 |
| | P (%) | 0.06 \pm 0.002 | 0.05 \pm 0.001 | 0.061 \pm 0.002 | 0.051 \pm 0.001 |
| | K (%) | 0.48 \pm 0.01 | 0.52 \pm 0.01 | 0.90 \pm 0.01 | 0.38 \pm 0.002 |
| | Ca (%) | 0.93 \pm 0.02 | 1.21 \pm 0.01 | 0.62 \pm 0.02 | 0.65 \pm 0.10 |
| | Mg (%) | 0.23 \pm 0.003 | 0.27 \pm 0.01 | 0.21 \pm 0.005 | 0.24 \pm 0.01 |
| | Zn (ppm) | 11.0 \pm 1.50 | 17.3 \pm 2.24 | 9.75 \pm 4.23 | 14.00 \pm 0.99 |
| | Fe (ppm) | 267.5 \pm 42.3 | 162.5 \pm 2.5 | 175.0 \pm 4.9 | 240.0 \pm 19.9 |
| | Mn (ppm) | 82.5 \pm 2.49 | 47.5 \pm 2.31 | 37.5 \pm 7.47 | 47.5 \pm 2.78 |
| | Cu (ppm) | 10.25 \pm 1.74 | 2.25 \pm 0.25 | 8.50 \pm 1.99 | 4.50 \pm 0.99 |

Consumos hídricos en cultivo sin suelo, para pimiento dulce (var. Orlando)

▮ **Ramón Madrid, Mateo Boronat**

Departamento Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia

▮ **Juan Martínez, Miguel Jiménez**

Departamento Producción Vegetal, Escuela Politécnica Superior de Orihuela (UMH)

▮ **Equipo Técnico del C.D.T.A.**

Centro Demostración y Transferencia Agraria El Mirador. San Javier (Murcia)

Abstract

The influence of two commercial substrates, coconut and perlite, and the contribution of the nutrient solution, in order to know the answer in the water consumption in connection with the productivity in Orlando F1 variety of bell pepper, have been studied.

The data of the accumulated water consumption and production, show results lightly higher during all cycle of culture, for the plants of pepper cultivated on coconut. However, perlite has behaved more appropriate in general, for the development of the pepper culture, upon presenting some courages of the accumulated relationship production/water consumption, higher than the coconut culture during the first 234 days of transplanting.

Key words: soilles culture, substrates, fertigation, bell pepper.

Introducción

En el desarrollo de los cultivos, el agua es el primer factor limitante de la productividad, la técnica de la

fertirrigación viene a mejorar sustancialmente el suministro de agua a la planta al ser aportada en dosis bajas y continuas según la demanda consuntiva del cultivo, y utilizada en gran medida en procesos de evapotranspiración (sustrato-planta-atmósfera). Se hace imprescindible disponer de una buena estimación de las necesidades totales de agua de riego en los diferentes estadios fenológicos del cultivo, para hacer un uso eficaz del agua de riego y los fertilizantes aportados y conseguir así un máximo rendimiento del cultivo (5).

La frecuencia y volumen de los riegos fertilizantes deben adaptarse al sistema de cultivo, al tipo de sustrato utilizado (volumen y características físico-químicas), al estado fenológico de la plantación y a las condiciones climáticas existentes en cada momento en el interior del invernadero (4).

La composición del agua de riego incide en la disolución fertilizante tanto por los nutrientes que contiene como por su salinidad y por el nivel de bicarbonatos que en parte conviene neutralizar para ajustar el pH. Para conseguir que los nutrientes se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la disolución nutritiva, y de esta forma sean asimilables por las

plantas, debe ejercerse un control de la conductividad eléctrica y del pH de la misma, debiendo estar acorde con el tipo de cultivo desarrollado (tolerancia a la salinidad) y evitar así efectos osmóticos y fenómenos de sinergismo y antagonismo que perturban la absorción de nutrientes por la planta, influyendo en la respuesta vegetativa y productiva del cultivo (6; 2).

El sistema de cultivo en sustrato de drenaje libre evacúa la disolución lixiviada directamente al medio edáfico, por lo que resulta imprescindible: reducir en lo posible el volumen de disolución que debe drenar, mantenimiento del máximo potencial osmótico, en términos absolutos, en el entorno radicular que no genere mermas productivas. El objetivo, es evitar un consumo excesivo de agua y fertilizantes, minimizando la fracción residual; para conseguirlo es fundamental reducir la amplitud de variación del potencial hídrico del sustrato y mantener el equilibrio del sistema sustrato-planta-atmósfera. Se debe conjugar un preciso aporte hídrico (flujo discontinuo) para compensar la demanda climática potencial (continua) de la atmósfera del invernadero, evitando restricciones hídricas y condiciones de estrés ambiental (1; 3).

En el presente trabajo se estudia la influencia del sustrato (fibra de coco o perlita), junto al aporte de la disolución nutritiva, para conocer la respuesta en el consumo hídrico de la planta, en relación con la productividad alcanzada en el cultivo de pimiento dulce (var. Orlando F1) bajo invernadero.

Materiales y Métodos

La experiencia se realiza en el Centro de Demostración y Transferencia Agraria en San Javier (Murcia), en un invernadero tipo multitúnel, dotado para el control del clima interior de calefacción ambiental y de la del propio sustrato, que mantienen una T^a mínima de 16 °C; así como ventilación con apertura cenital y lateral automáticas, pantalla térmica cerrada con 50% de sombreo automatizada, utilizada por las noches y en los meses más fríos para ahorro energético, y durante

el día a partir del mes de mayo como pantalla del exceso de luminosidad. Riego localizado automatizado con instalación de distribución de la disolución nutritiva de forma uniforme.

Diseño del experimento. Se realiza el ensayo con cultivar de pimiento de la variedad Orlando F1 para su adaptación a nuestro ciclo de cultivo, efectuando el estudio para dos sustratos comerciales, fibra de coco y perlita, con una superficie de plantación de 614,40 m², empleando 4 parcelas unitarias dispuestas en bloques de 10 filas de 15,36 m² por fila con 35 plantas cada una, siendo el marco de plantación de 2,3 plantas/m², situadas en contenedores de base rectangular, de polietileno rígido de alta densidad y doble capa, de 20 cm (anchura y altura), procediéndose a rellenar con fibra de coco hasta los 18 cm de altura, mientras que para la perlita se emplearon salchichas, con una separación de 1,25 m entre líneas y de 0,32 m entre plántulas. El sistema de riego localizado de alta frecuencia, se efectúa de forma automática mediante bandeja de riego por demanda. El transplante se realizó el 9 de enero de 1999 y el cultivo se mantuvo durante 258 días. Se toman muestras de las disoluciones nutritivas y de drenajes (total y sondas de succión) cada 14 días aproximadamente, así como del agua de riego empleada, siendo recogidas como muestras integradas, eligiendo para su captación cuatro puntos representativos de forma sistemática.

Disoluciones nutritivas. Se aplica una disolución nutritiva inicial para cada uno de los sustratos, junto al análisis del agua de riego utilizada, expresando la concentración de los diferentes macronutrientes en mmol/l y en mmol/l para los microelementos (Tabla 1), el ajuste y optimización de las sucesivas disoluciones nutritivas a lo largo del desarrollo del cultivo, se efectúa a partir de los análisis de los drenajes teniendo en cuenta los correspondientes a las disoluciones nutritivas; simultáneamente se efectúa un seguimiento automático de la CE y del pH de las disoluciones nutritivas aportadas.

Métodos analíticos. En las distintas aguas recogidas, se efectúan las determinaciones de los parámetros

pH y CE junto con los iones NH_4^+ , Cl^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- por potenciometría, los restantes aniones NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} y $\text{B}(\text{OH})_4^-$ por espectrometría VIS-UV y los macronutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) y oligoelementos (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+}) mediante espectrometría de absorción atómica.

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran los valores acumulados de consumo hídrico (m^3 de agua/ m^2 de superficie de plantación) y de la producción de frutos (Kg/m^2), así como la relación de producción/consumo (Kg/m^3), durante el ciclo de desarrollo del cultivo (días desde el transplante) de pimiento dulce (var. Orlando F1) tomando como variables, los sustratos fibra de coco y perlita y una disolución nutritiva para cada uno.

Los datos del consumo hídrico acumulado por las plantas resultan ligeramente mayores, durante todo el ciclo de cultivo, para las plantas de pimiento cultivadas en el sustrato fibra de coco frente a las cultivadas en perlita, alcanzando al final del mismo valores de 0,73 y 0,68 (m^3/m^2) respectivamente, lo que no indica en principio unos requerimientos más bajos de agua y fertilizantes para el sustrato perlita, ya que las necesidades consuntivas de agua en valor absoluto, son ligeramente mayores en perlita (1.070 l/m^2) que en fibra de coco (1.055 l/m^2).

En cuanto a la producción de frutos de pimiento acumulada, resulta asimismo ligeramente superior para el sustrato fibra de coco durante todas las fechas de recolección, siendo finalmente la cantidad de frutos recogida por metro cuadrado de 11,59 Kg en sustrato fibra de coco, frente a los 10,13 Kg en perlita, sin embargo, no se puede afirmar que este mayor rendimiento alcanzado sea como consecuencia de una mejor eficiencia de los recursos utilizados.

Así pues, la representación gráfica de la producción de fruto acumulado frente al consumo hídrico acumulado, refleja una mayor eficiencia del agua de riego y los fertilizantes aportados, presentando las plantas de

pimiento cultivadas sobre perlita, unos valores más elevados de dicha relación durante casi todo el ciclo de cultivo donde se ha alcanzado una recolección del 94,7% del total, y a partir de los 234 días del transplante, se invierte la tendencia a favor de la fibra de coco; ello significa un mayor rendimiento de cosecha con un menor consumo de agua y fertilizantes en las plantas de pimiento desarrolladas en perlita.

Conclusiones

El sustrato perlita se ha manifestado más apropiado en su conjunto para el desarrollo del cultivo de pimiento dulce (var. Orlando), al presentar unos valores de la relación producción/consumo acumulada superiores a fibra de coco durante los primeros 234 días, a pesar de obtener una producción final acumulada algo más baja que en el sustrato fibra de coco. A su vez el ensayo ha permitido el ajuste de las disoluciones nutritivas sucesivas.

Bibliografía

1. Baille, A. 1994. Irrigation management strategy of greenhouse crops in mediterranean countries. *Acta Horticulturae*. 361, 105-122.
2. Cadahía, C. 1997. Fertirrigación. Conceptos básicos. *Actas de Horticultura*. 19, 46-55.
3. Lorenzo, P. 1997. Gestión de la fertirrigación en los sistemas de cultivo en sustrato. *Actas de Horticultura*. 19, 151-162.
4. Madrid, R., Boronat, M., Valverde, M., Lax, A. 2000. Evolución de macronutrientes en el ajuste de disoluciones nutritivas en cultivo sin suelo, para pimiento dulce (var. Orlando). *Agrochimica* (Remitido).
5. Rincón, L. 1991. Fertirrigación en cultivos hortícolas. El agua y los fertilizantes. *Fertirrigación localizada*. I.S.B.N.: 84-87154-26-3, 223-239.
6. Rincón, L., Saez, J., Madrid, R. 1998. Growth and nutrient absorption by muskmelon crop under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*. 458, 153-159.

Tabla 1

Agua de riego, fertilizantes y disoluciones nutritivas de partida para los sustratos fibra de coco y perlita (macronutrientes en mmol/l y micronutrientes en $\mu\text{mol/l}$)

| Parámetro | Agua riego | Fibra de coco | | Perlita | |
|---------------------------|------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | Fertilizante (ion) | Disolución nutritiva | Fertilizante (ion) | Disolución nutritiva |
| pH | 8,16 | – | 6,95 | – | 6,48 |
| CE (dS/m) | 1,01 | – | 2,39 | – | 2,31 |
| NO_3^- | 0,01 | 13,59 | 13,60 | 12,34 | 12,35 |
| NH_4^+ | 0,00 | 0,06 | 0,06 | 0,20 | 0,20 |
| H_2PO_4^- | 0,00 | 1,50 | 1,50 | 1,75 | 1,75 |
| K^+ | 0,06 | 5,44 | 5,50 | 5,44 | 5,50 |
| Ca^{2+} | 2,22 | 3,28 | 5,50 | 2,78 | 5,00 |
| Mg^{2+} | 1,67 | 0,00 | 1,67 | 0,33 | 2,00 |
| SO_4^{2-} | 2,54 | 0,00 | 2,54 | 0,00 | 2,54 |
| HCO_3^- | 2,94 | 0,00 | 0,50 | 0,00 | 0,50 |
| Cl^- | 2,92 | 0,00 | 2,92 | 0,00 | 2,92 |
| Na^+ | 2,77 | 0,00 | 2,77 | 0,00 | 2,77 |
| Fe^{2+} | 0,00 | 23,43 | 23,43 | 17,51 | 17,51 |
| Mn^{2+} | 0,38 | 4,85 | 5,23 | 8,15 | 8,53 |
| Zn^{2+} | 0,18 | 2,34 | 2,52 | 3,58 | 3,76 |
| Cu^{2+} | 0,61 | 0,41 | 1,06 | 0,37 | 0,98 |
| B(OH)_4^- | 12,95 | 43,01 | 55,96 | 32,19 | 45,14 |

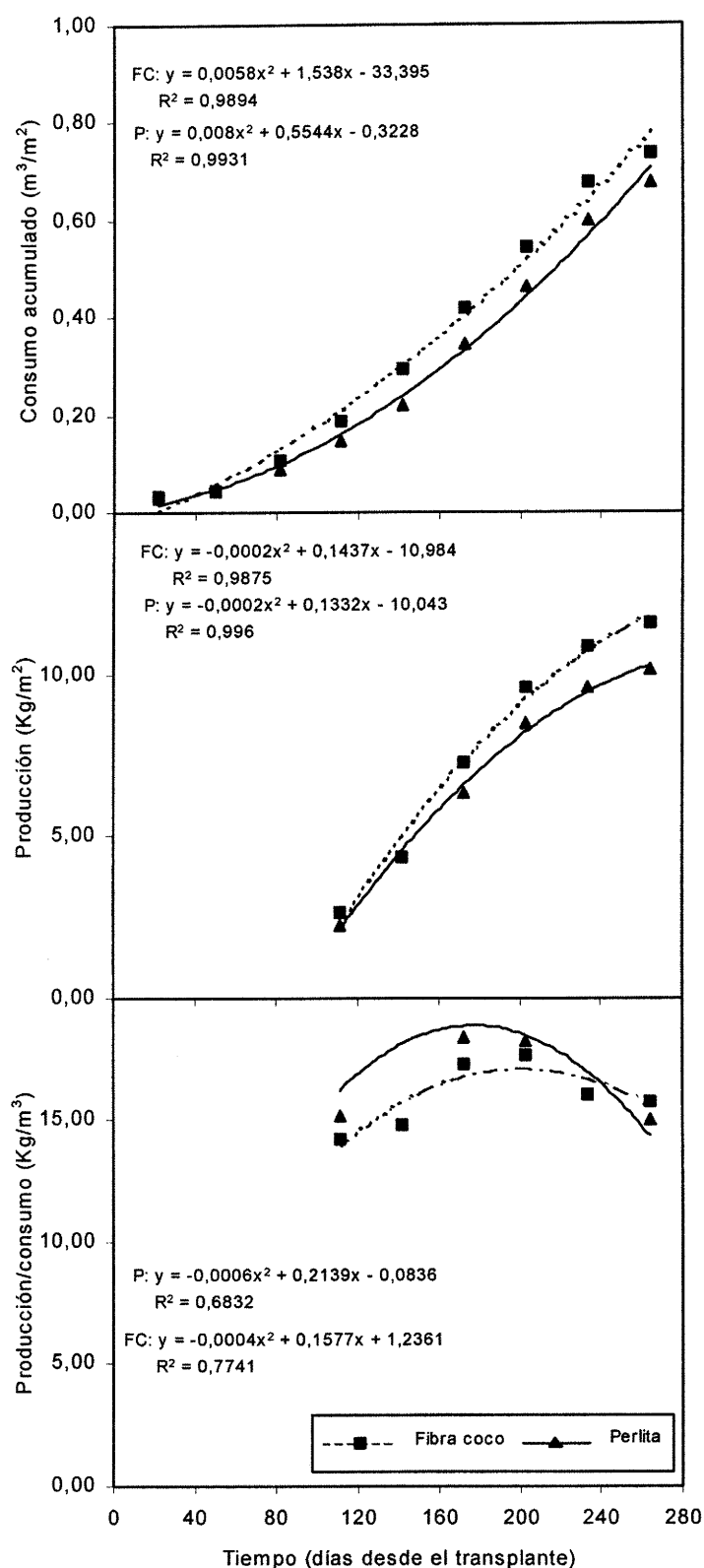


Figura 1. Evolución del consumo hídrico acumulado, la producción acumulada y su cociente para cultivo de pimienta (var. Orlando) sobre dos sustratos (fibra de coco-FC y perlita-P).

Consumo de agua y evolución de determinados elementos nutritivos en la solución recirculante de un sistema NFT en cultivo de tomate

► **J. Martínez Tomé; F. López; A. Fernández; M.A. Oltra; F. Hernández; R. Martínez**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología
E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Abstract

This experience is based on a tomato crop carried out in a EPSO's property, using an hidroponic system with water recirculation. The choice of this technique is due to the theoretic saving of water and nutrients that it represents, and also to the reduction on the contamination of the ground with drainages. To sum up, it pretends a higher knowledge of this technique, with the control of a series of parameters such as concentration of oxigen, temperature, EC, Hp and de evolution of many elements of the nutritional solution, for the production of tomato and therefore, the optimizacion in the management of it.

Resumen

La experiencia está basada en un cultivo de tomate llevado a cabo en la finca de la E.P.S.O. utilizando un sistema hidropónico con recirculación de agua. La elección de esta técnica se debe al teórico ahorro de agua y nutrientes que representa y a la reducción de la contaminación del suelo por drenajes. Con el ensayo

se pretende un mayor conocimiento del sistema por medio del control de una serie de parámetros como: concentración de oxígeno, temperatura, CE, pH, evolución de distintos elementos de la solución nutritiva para optimizar su manejo.

Introducción

La horticultura intensiva española actual somete los suelos a una sobreexplotación que además de esquilamiento provoca la proliferación de enfermedades del suelo por la ausencia de alternativas de cultivo. La anunciada restricción en el uso del Bromuro de Metilo acentúa más el problema, y el desarrollo de nuevos desinfectantes junto con el injerto sobre pies resistentes, y el cultivo hidropónico pueden ser soluciones efectivas.

Desde el punto de vista meramente agronómico los cultivos sin suelo aportan también una serie de ventajas tales como:

– Menor consumo energético para la absorción de agua y nutrientes de un sustrato que del suelo, y en

consecuencia mayor cantidad de fotoasimilados destinados a crecimiento y producción (Cánovas, 1993).

- Control más estricto de la nutrición, que conlleva una calidad superior de la cosecha.

- Reducción de las técnicas culturales (laboreos, escardas, desinfecciones...).

- Mayor precocidad y respuesta más rápida a modificaciones nutricionales.

En España la práctica totalidad de las parcelas con cultivo hidropónico están en invernaderos y son sistemas a solución perdida o abiertos, es decir, los drenajes se dejan percolar en el suelo, bien en el mismo emplazamiento de los sustratos, o bien son canalizados fuera del invernadero donde se desechan.

El creciente interés por el medio ambiente hace necesario el empleo de sistemas de cultivo que disminuyan la contaminación del suelo y acuíferos por drenajes, sobre todo el ocasionado por nitratos que puede alcanzar valores muy elevados (Uronen, 1995), y que a su vez en zonas semiáridas como el sudeste peninsular permitan un ahorro de agua y fertilizantes. Este es el motivo por el que los sistemas hidropónicos con recirculación de agua se están comenzando a implantar, y las normativas europeas que en años próximos estarán vigentes en nuestro país obligarán a establecer una recogida y reutilización de los drenajes.

Los sistemas recirculantes presentan múltiples ventajas, sin embargo, uno de sus principales problemas es la dificultad del manejo para la nutrición de los cultivos (Donnan, 1994). La cantidad de agua necesaria dependerá de la zona, cultivo, condiciones climáticas, época del año, control climático del invernadero, sustrato, salinidad del agua de riego... (Jensen y Malter, 1995).

En este trabajo se estudian una serie de parámetros radiculares (CE, pH, T^a., concentración de oxígeno, evolución de distintos elementos de la solución y el consumo de agua y fertilizantes obtenidos en un cultivo de tomate empleando una variante comercial del sistema N.F.T.

Material y métodos

El ensayo se llevó a cabo en la finca propiedad de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández. Se empleó un invernadero de tipo capilla de 200 m², abrigo de policarbonato, y ventilación tanto lateral como cenital.

En el interior del invernadero se controló la temperatura y la humedad relativa mediante un termohidrógrafo, alcanzándose mínimas nocturnas de entre 2-5 °C y máximas diurnas de 35 °C, no observando durante el ensayo ningún problema radicular derivado de estas condiciones.

El sistema de cultivo empleado fue una variante comercial del sistema NFT (Nutrient Film Technique) denominada NGS (New Growing System). Las unidades de cultivo son bolsas de polietileno blanco al exterior y negro al interior de 200 galgas de espesor con varias capas de plástico, suspendidas sobre el suelo con una pendiente del 3% y presentan unos cortes en su parte superior donde se transplantarán el cultivo en pequeños cubos de lana de roca.

A diferencia del sistema NFT la solución no se aplica como una fina lámina sino a través de laterales de goteros de 4 l/h con piquetas, suspendidos sobre las líneas de cultivo (un gotero por planta). El agua que no es absorbida por la planta circula por el interior de la bolsa describiendo un flujo en cascada, y es recogida al final de la misma, y canalizada hasta un tanque de almacenamiento. En este depósito se controla la CE y pH por medio de un programador de riego, que ordena la adicción de ácido y fertilizantes desde los tanques de solución madre, y se incorpora de nuevo al cultivo.

En el ensayo se transplantaron 7 líneas del cv. Daniela separadas 1,5 m, con una longitud de 17,5 m, y una distancia entre plantas de 0,4 m. Cada una de las bolsas tenía capacidad para 42 plantas aunque se transplantaron 259, es decir 37 por línea. El transplante se realizó el 19 de noviembre de 1998 y la supresión del riego (final del cultivo) tuvo lugar el 8 de junio de 1999.

La solución nutritiva empleada presenta una CE de 2,0 mS/cm, un pH de 6,0, y su composición queda expresada en la Tabla 1. La neutralización de los bicarbonatos se realizó por medio de ácido nítrico, para evitar bajadas bruscas de pH.

Periódicamente se tomaban muestras de la solución nutritiva para la posterior determinación de distintos elementos (Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio), y se procedía a su eliminación de la solución del circuito al detenerse el aporte de fertilizantes o al sobrepasarse la CE prefijada.

El pH, CE y Tª. de la solución se controló en el programador de riego, y en la última parte del cultivo comenzó a medirse la concentración de oxígeno en el tanque de recirculación, antes y después de ponerse en contacto el sistema de agitación-oxigenación con el que contaba el cabezal, y que inyectaba aire a los depósitos de solución madre y al tanque de recogida.

Resultados y discusión

Los Gráficos 1 y 2 recogen la evolución de los cationes (Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio) y aniones (Cloruros, Sulfatos, Nitratos y Fosfatos) determinados. Aunque se recurrió a la eliminación de la solución recirculante para paliar la acumulación de sales fitotóxicas fue imposible evitar la concentración de cloruros, sulfatos, sodio, y en menor medida calcio, y magnesio.

Se pueden apreciar dos fases dentro de este proceso; una primera donde la velocidad de acumulación es más baja debido a la menor superficie foliar de cultivo y a las condiciones climáticas menos exigentes (menor temperatura, radiación...), y una segunda de mayor velocidad y coincidente con un mayor desarrollo de la planta y mayor transpiración relativa.

Una tendencia opuesta presentaron elementos como potasio y fosfatos, que eran absorbidos rápidamente, y veían dificultada su restitución por la acumulación de otras sales que mantenían la CE. Los nitratos mantuvieron su concentración en niveles más o menos

constantes, ya que eran aportados en forma de ácido nítrico para neutralizar los bicarbonatos del agua de riego.

Los valores de CE y pH se mantuvieron siempre muy próximos a lo fijado, mientras que las Tª. de la solución se encontraron entre 11-30 °C en medidas realizadas a las 14,00 h, lo que indica que hubo temperaturas nocturnas inferiores que limitaron el desarrollo del cultivo. Por otro lado temperaturas diurnas excesivamente altas provocan un envejecimiento radicular prematuro. La concentración de oxígeno se mantuvo siempre por encima de los valores recomendados en la bibliografía, 3-4 mg/l, para un adecuado desarrollo radicular. En los Gráficos 3 y 4 aparecen las concentraciones de oxígeno medidas, y la regresión polinómica de la concentración de oxígeno en relación a la temperatura en el sistema de cultivo.

En el Gráfico 5 observamos el consumo por periodos y el acumulado, éste último se adapta perfectamente a una línea de tendencia polinomial de 2º grado, con un coeficiente de regresión próximo a la unidad. El consumo final de agua fue de 3.327,5 m³/ha. El consumo de fertilizantes se recoge en las Tablas 2 y 3.

Bibliografía

- CANOVAS, M.F., 1993.: Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. Curso Superior de especialización sobre cultivos sin suelo. Fundación para la Investigación Agraria en la provincia de Almería (F.I.A.P.A.), pp. 17-29.
- DONNAN, R. 1994: Nutriente management in hydroponic system. Practical Hydroponics and Greenhouses, nº. 16.
- JENSEN, M.H.; MALTER, A.J., 1995: Protected Agriculture: A Global Review. World Bank Technical Paper nº. 253.
- URONEN, K.R., 1995: Leaching of nutrients and yield of tomato in peat and rockwool with open and closed system. Acta Horticulturae 401: 443-449.

Tabla 1
Solución nutritiva empleada

| Aniones mmol l ⁻¹ | | | | | Cationes mmol l ⁻¹ | | | | | pH | CE (mS cm ⁻¹) |
|------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------|---------------------------|
| NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | | |
| 10,00 | 2,00 | 2,39 | 0,50 | 3,15 | 0 | 5,00 | 4,00 | 2,00 | 2,70 | 6,00 | 2,00 |

Tabla 2
Consumo de fertilizantes

| Fertilizantes empleados | Consumo en Kg o L | Kg o L ha ⁻¹ |
|---|-------------------|-------------------------|
| Ca(NO ₃) ₂ H ₂ O | 15,64 | 1006,39 |
| kH ₂ PO ₄ | 14,72 | 947,19 |
| KNO ₃ | 15,78 | 1015,40 |
| HNO ₃ | 19,30 | 1241,90 |
| Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O | 6,91 | 444,64 |
| Complejo de microelementos | 1,35 | 86,86 |

Tabla 3
Consumo en UF ha⁻¹

| Fertilizantes | Riqueza % | | | | | UF N/ha | UF P ₂ O ₅ /Ha | UF K ₂ O/ha | UF CaO/ha | UF MgO/ha |
|---|-----------|-------------------------------|------------------|-------|------|---------|--------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | | | | | |
| Ca(NO ₃) ₂ H ₂ O | 15,50 | - | - | 19,00 | - | 187,20 | - | - | 229,48 | - |
| kH ₂ PO ₄ | - | 23,00 | 28,00 | - | - | - | 261,47 | 318,32 | - | - |
| KNO ₃ | 13,00 | - | 38,00 | - | - | 158,46 | - | 463,21 | - | - |
| HNO ₃ (59 %) | 13,00 | - | - | - | - | 265,42 | - | - | - | - |
| Mg(NO ₃) ₂ 6H ₂ O | 11,00 | - | - | - | 9,00 | 59,97 | - | - | - | 48,08 |
| Total | | | | | | 671,05 | 261,47 | 781,53 | 229,48 | 48,08 |

Gráfico 1

Evolución de las concentraciones de aniones en la solución nutritiva

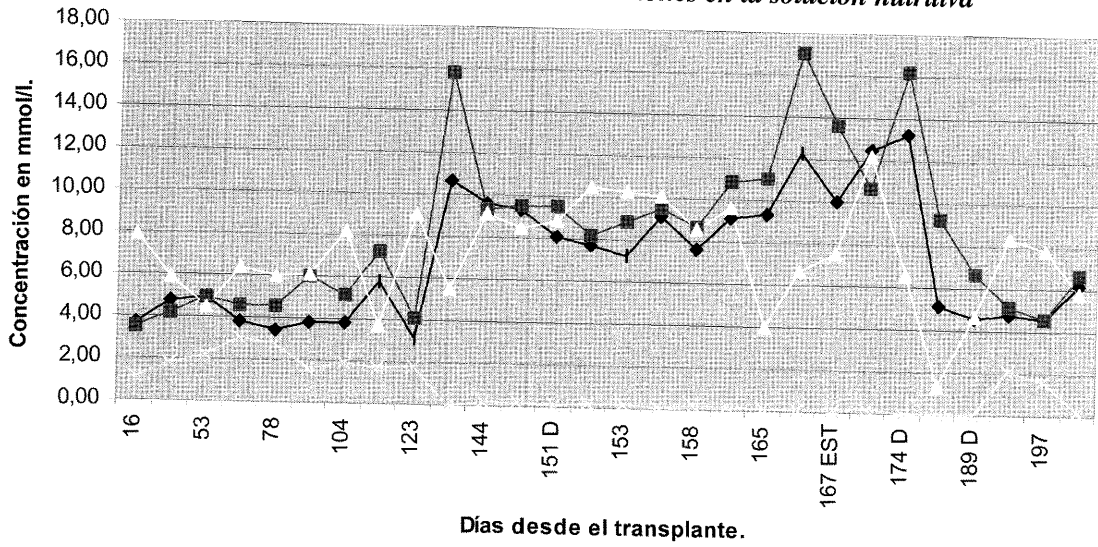


Gráfico 2

Evolución de las concentraciones de cationes en la solución nutritiva

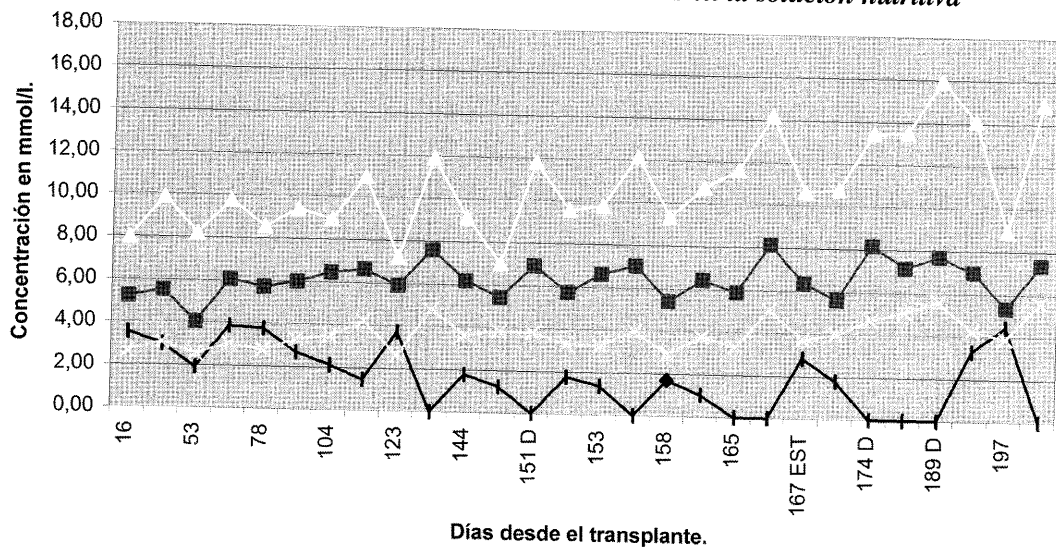


Gráfico 3

Evolución de los niveles de oxígeno en la solución

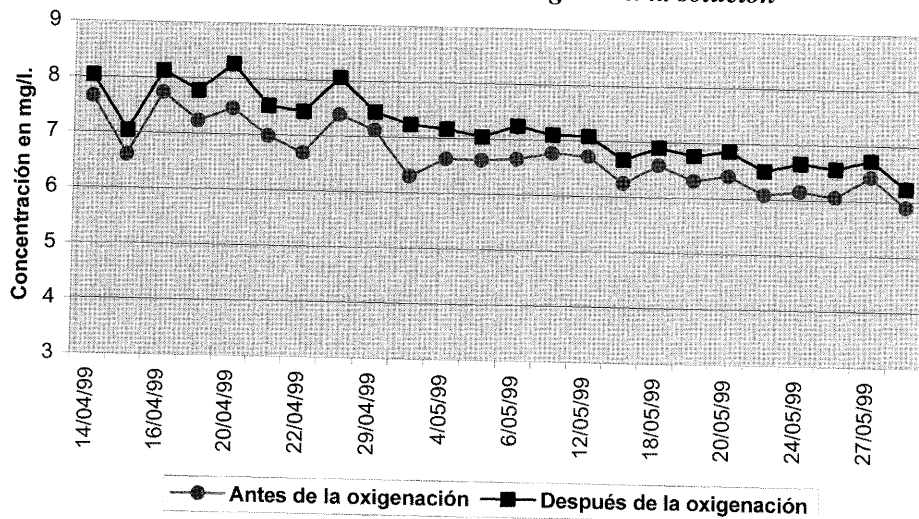


Gráfico 4

Concentración de oxígeno en relación con la temperatura de la solución nutritiva en el sistema NGS

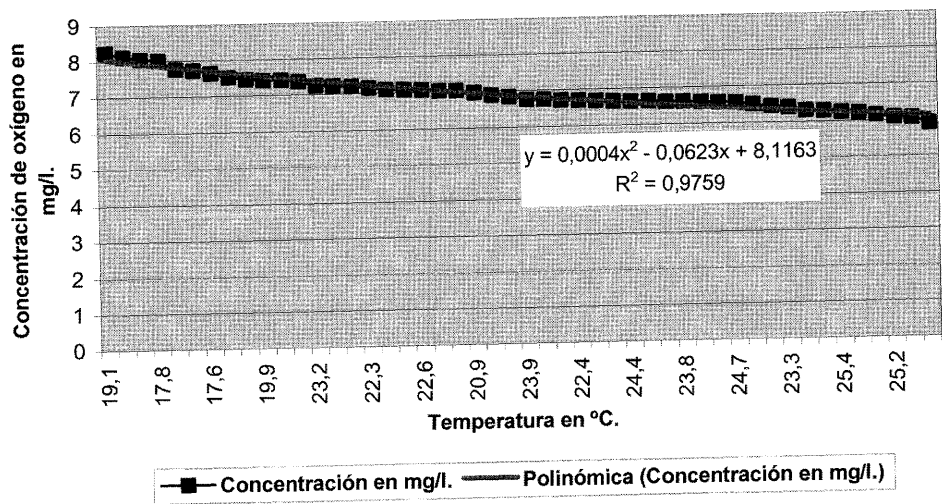
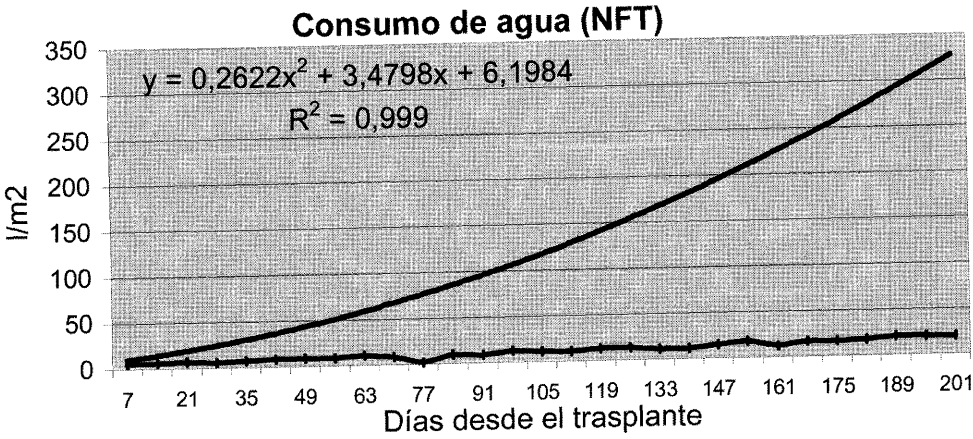


Gráfico 5

Consumo por periodos y acumulados de agua durante el ensayo



Consumo de agua y producción en cultivo de tres variedades de melón tipo Galia en tres sustratos diferentes de cultivo sin suelo

▣ J. Martínez Tomé; J. Pomares; M. Giménez; M.A. Oltra; J.J. Martínez

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

▣ R. Madrid

Departamento de Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Murcia

Resumen

Se estudia el comportamiento técnico y agronómico de un cultivo sin suelo en el que se han utilizado diferentes sustratos (turba, fibra de coco y perlita) con tres cultivares distintos de melón Galia. En el trabajo su midieron características productivas, morfológicas y organolépticas. Atendiendo a estos tres puntos, dividiremos los resultados entre variedades y sustratos, concluyendo que los mejores resultados productivos se han obtenido con la variedad Lavi y con el sustrato de fibra de coco, que junto con la turba son los sustratos con los que mayor producción comercial se obtiene y los que más destacan en producción precoz, producción comercial y peso medio. Con la perlita los frutos fueron más compactos y menos huecos.

Introducción

El sistema de agricultura tradicional pone un especial énfasis en suelo, clima y agua, como condicionantes de las prácticas agrarias, cuestión ésta que imposibilita el cultivo en muchas zonas.

Debido a la necesidad de encontrar nuevas alternativas al cultivo del suelo, no solo por el posible desgaste, sino también por la inminente prohibición del uso del bromuro de metilo, es por lo que debemos dominar las técnicas hidropónicas. Todo esto viene apoyado de la comprobación de incrementos que supone la hidroponía en cuanto a producción, calidad y precocidad de las cosechas (Alarcón, 1998).

Como cultivo hidropónico podemos aceptar la siguiente definición: “El cultivo en sustrato es el cultivo de especies vegetales en un medio aislado del suelo (Cift, 1984)”. La hidroponía permite un tratamiento uniforme y sin interacciones de elementos extraños al ser, de partida, un medio homogéneo, aislado del suelo y no contaminado.

La introducción en los años ochenta de nuevos sustratos artificiales inertes, así como los avances de las instalaciones y automatismos de control, ha supuesto la definitiva consagración de la hidroponía como sistema puntero de producción. Actualmente existen en Europa miles de hectáreas de cultivos sin suelo, superando en algunas zonas a la superficie de invernaderos

que continúa utilizando el suelo como medio de cultivo (Cánovas, 1993).

En hidroponía la planta encuentra en óptimas condiciones los elementos que necesita y los toma con un ahorro energético notable respecto al suelo, donde se encuentran en peores condiciones. Esto supone que un mayor porcentaje de carbohidratos se destinan en este caso a fines productivos.

En la actualidad los sistemas de cultivo sin suelo, en especial los hidropónicos, son completamente operativos y se están imponiendo en la horticultura de vanguardia. Su aplicación es más aconsejada cuanto mejor nivel de control y equipamiento tiene un invernadero.

Material y métodos

El ensayo tuvo lugar en uno de los invernaderos situados en la finca de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, situada el término municipal de Orihuela (Alicante).

El invernadero es de tipo multitúnel con cuatro naves, que tienen 8 m de ancho cada una y 30 m de largo, tienen una altura de 3.40 m hasta el canal y 4.30 m hasta la cumbrera. Posee tanto unas ventilaciones cenitales (supercénit), como unas ventilaciones laterales, todas ellas automáticas, controladas por un termostato y cubiertas por una malla antitrips de polietileno y 200 hilos/cm². El invernadero está constituido por planchas onduladas de policarbonato y fue encalado en dos ocasiones con carbonato cálcico durante todo el ciclo del cultivo.

En el ensayo fueron utilizadas plantas de melón tipo Galia pertenecientes a los cvs. Aitana, 9816 y Lavi. Los sacos de sustratos utilizados fueron de turba, fibra de coco (ambos con una longitud de 1 m) y perlita (con una longitud de 1.20 m). Se colocaron tres plantas por saco, obteniéndose una densidad de plantación de 2.5 plantas/m². La plantación se distribuyó en dos sectores:

– Sector 1: se colocaron los sacos de turba y fibra de coco, los sacos se alternaban de cuatro en cuatro.

– Sector 2: en esta zona se encontraban todos los sacos de perlita.

La plantación se llevó a cabo el 30-3-99 y finalizó con la última recolección el 26-7-99.

El drenaje era recogido de una muestra de sacos representativa con el fin de llevar un adecuado control del riego. Tanto la frecuencia como la dotación eran variables en función de los drenajes obtenidos y el estado fisiológico en el que se encontrara la plantación (Martínez *et al.*, 1993).

No se les realizó ningún tipo de poda a las plantas y fueron entutoradas con una malla de polietileno con cuadros de 20 cm de lado. Para mejorar la polinización se colocó una colmena de *Bombus terrestris*.

Para tener conocimiento de la calidad del fruto se realizaron los siguientes controles: peso, longitud, anchura, profundidad de pulpa, cavidad de semillas, °Brix y dureza de la pulpa. A partir de estos datos calculamos la producción comercial (frutos comprendidos entre 500 y 1.500 g), producción precoz (aquella obtenida durante el primer tercio de duración recolección), peso medio de los frutos comerciales, °Brix, dureza, cavidad de las semillas, profundidad de la pulpa y relación longitud/anchura de los frutos.

Resultados y discusión

Durante el ensayo se han aportado en la turba 645.65 l/m², drenándose el 25% de lo suministrado, en la fibra de coco 652.75 l/m², con un drenaje del 18% del agua aportada y en la perlita se aportaron 532.2 l/m² drenándose el 19%.

Para la producción total se obtuvieron distintos comportamientos en los diferentes sustratos, en la fibra de coco se consiguieron las mejores producciones para las tres variedades, oscilando entre 6.5 y 6.9 kg/m². En la perlita se obtuvieron entre 4.4 y 4.9 kg/m².

Los valores de producción comercial se encuentran entre los 4.9 kg/m² de la turba y los 3.4 kg/m² de la perlita, consiguiéndose 4 kg/m² en la fibra de coco.

Para la producción precoz consiguieron 3 kg/m² para el cv. 9816, 3.3 kg/m² para la variedad Lavi y 2 kg/m² para el cv. Aitana.

En el peso medio fue la turba el sustrato con el que más valor se obtuvo, 1.1 kg/fruto. La fibra de coco y la perlita tuvieron unos pesos medios de los frutos de 0.9 kg.

Destacan la turba y la fibra de coco al producir unos frutos con una cavidad de semillas superior a 47.47 mm/fruto, con la perlita se obtiene una media de 43.92 mm/fruto.

En la profundidad de la pulpa destacan el cv. Lavi y Aitana, que producen unos frutos con 35.58 y 36.29 mm respectivamente, con respecto la variedad 9816, con 30.34 mm/fruto. Para los distintos sustratos se han obtenido unos frutos con 32.8 mm en la fibra de coco, 34.4 mm con la turba y 35 mm en la perlita.

Los resultados obtenidos para la relación longitud/anchura han sido de 1.05 para los cultivares Lavi y Aitana y 1.13 para el 9816. En cuanto a los sustratos, la perlita nos ha dado un resultado de 1.05 y la turba y fibra de coco entorno al 1.10.

Conclusiones

– El sustrato del que mayor producción total hemos

obtenido ha sido la fibra de coco.

– El sustrato menos productivo ha sido la perlita.

– Con los sustratos que precisan de drenaje es necesario recircularlos, ya que un drenaje medio del 18-25% puede perder en estos niveles entre 1.000 y 1.600 m³/ha de agua.

– El menor tamaño de fruto ha sido la fibra de coco, siendo además el fruto con mayor cavidad seminal y menor espesor de pulpa. Y el de mayor calibre la turba.

– El sistema que mejor aprovechamiento tiene con el agua es la fibra de coco, produciendo 12.38 kg de cosecha por m³ consumido, valor similar al obtenido por la turba. Superando en un 13.73% a la perlita.

Bibliografía

ALARCÓN, A.L.; MADRID, R.; EGEA, C.; BRANÑAS, F.J. 1998. Modelo de cultivo sin suelo con recirculado integral de lixiviados. Actas de horticul-tura, 21:209-216.

CIFT. 1984. Cultures légumières sur substrates. Cift. Paris: 241 pp.

CÁNOVAS, F.; Cultivos sin suelo. Curso superior de especialización. 1993

MARTÍNEZ C. E., GARCÍA L. M., 1993. Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ediciones de horticultura, S.L.

Turba

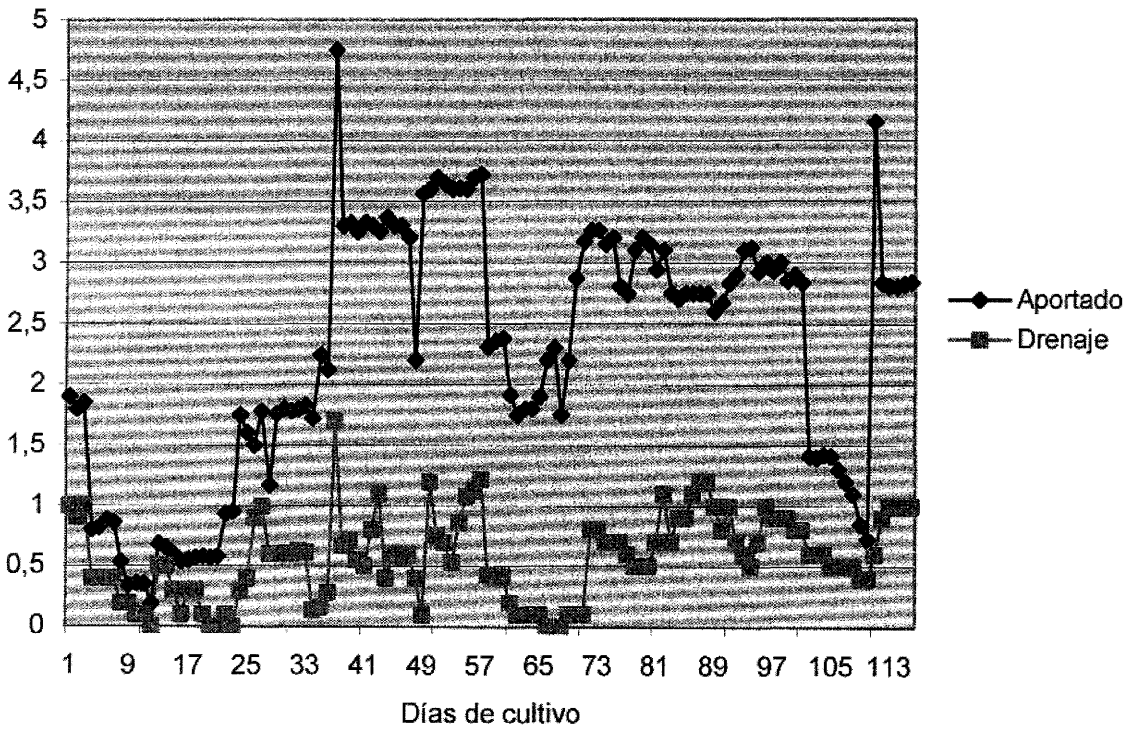


Figura 1. Evolución del agua aportada y los drenajes a lo largo del ciclo de cultivo en la turba.

Fibra de coco

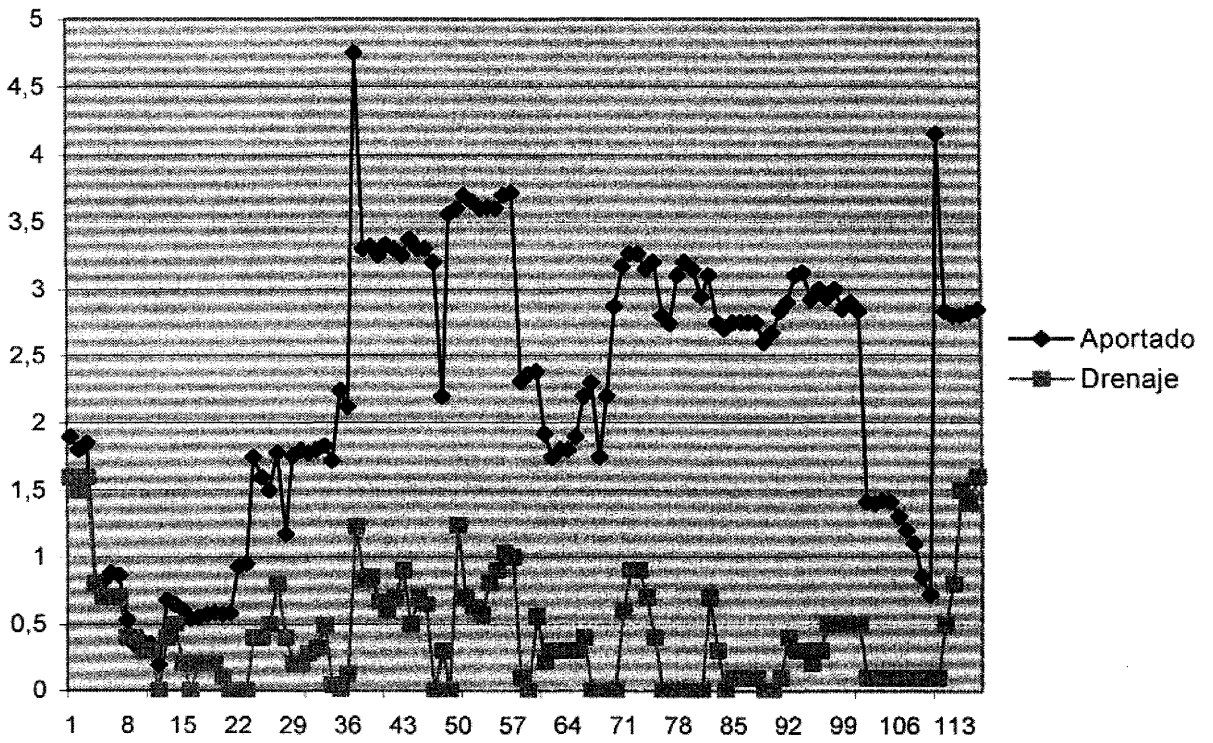


Figura 2. Evolución del agua aportada y los drenajes a lo largo del ciclo de cultivo en la fibra de coco.

Perlita

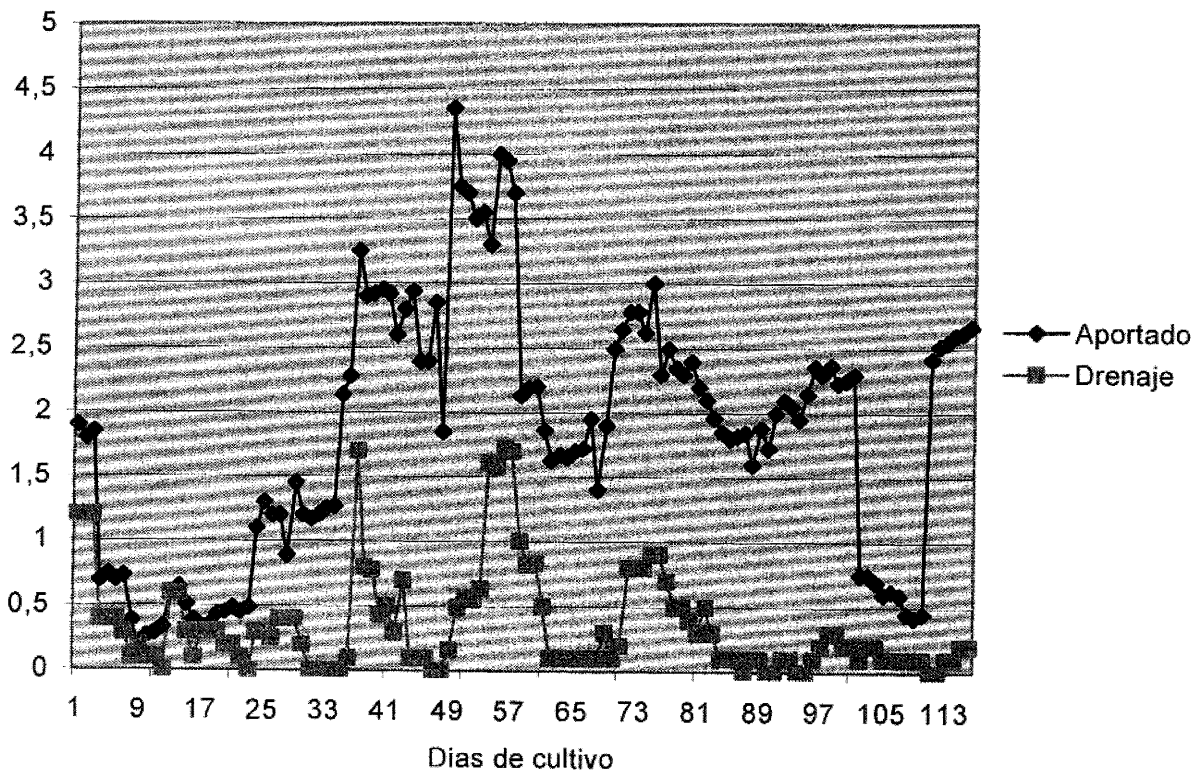


Figura 3. Evolución del agua aportada y los drenajes a lo largo del ciclo de cultivo en la perlita.

Tabla 1. Soluciones nutritivas utilizadas durante el ensayo

| Fecha | NO ₃ ⁻ | H ₂ PO ₄ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | pH | C.E. mS/cm |
|---------|------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----|---------------|
| 1-4/3-6 | 13.66 | 2 | 2.39 | 0.5 | 3.10 | 0 | 6 | 5 | 2.5 | 2.7 | 5.8 | 2.4 |
| 4-6/1-7 | 15.66 | 2 | 2.39 | 0.5 | 10.45 | 0 | 8 | 5 | 2.5 | 10 | 5.8 | 3.3 |
| 2-7/Fin | 12 | 2 | 4.47 | 0.5 | 12.45 | 0.5 | 9 | 5 | 2 | 12 | 5.8 | 3.5 |

Tabla 2. Producción total. Test de rango múltiple LSD al 95% de confianza

| Sustrato | Nº repeticiones | Intervalos medios kg/ha | Grupos homogéneos |
|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------|
| Perlita | 20 | 45926.59 | a |
| Turba | 12 | 58329.17 | a |
| Fibra de coco | 12 | 65950.00 | b |

Tabla 3. Peso medio de fruto. Test de rango múltiple LSD al 95% de confianza

| Sustrato | Nº repeticiones | Intervalos medios g/fruto | Grupos homogéneos |
|---------------|-----------------|------------------------------|-------------------|
| Perlita | 20 | 943.61 | a |
| Turba | 12 | 1108.83 | b |
| Fibra de coco | 12 | 931.61 | a |

Consumo de agua y producción en cultivo de tres variedades de melón tipo Charentais en tres sustratos diferentes de cultivo sin suelo

■ **J. Martínez Tomé; J.C. Tornell**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

■ **R. Madrid; M. Boronat**

Departamento de Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Murcia

Abstract

Behavior studies technical and agronomic of open system of culture without ground to solution lost, that consists of three differentiated sectors of fertirrigación, in which different substrates have been used (coir dust, peat and perlite), with a tolerant culture to the salinity, as it is the melon (cvs. Lutetia F1, 7004 F1 y 7011 F1). The nutritious solutions are prepared from the water of irrigation available. In sector 1, where coir dust has been used like substrate, a water consumption is reached of 5.326,5 m³/ha after a total production of 44.999,4 kg/ha. In sector 2, where perlite like substrate has been used, a water consumption was obtained of 4296.3 m³/ha for a total production of 31.275,9 kg/ha. In sector 3, where peat has been used like substrate, a water consumption is reached of 4.813,0 m³/ha after a total production of 46.483,9 kg/ha.

Resumen

Se estudia el comportamiento técnico y agronómico de un sistema abierto de cultivo sin suelo a solución

perdida, que consta de tres sectores de fertirrigación diferenciados, en los que se han utilizado diferentes sustratos (fibra de coco, turba perlita), con un cultivo tolerante a la salinidad, como es el cvs. Lutetia F1, 7004 F1 y 7011 F1). Las soluciones nutritivas son preparadas a partir del agua de riego disponible. En el sector 1, donde se ha utilizado como sustrato fibra de coco, se alcanza un consumo de agua de 5326.5 m³/ha para una producción total de 44.999,4 kg/ha. En el sector 2, donde se ha utilizado perlita como sustrato, se obtuvo un consumo de agua 4.296,3 m³/ha para una producción total de 31.275,9 kg/ha. En el sector 3, donde se ha utilizado como sustrato turba, se alcanza un consumo de agua de 4.813,0 m³/ha para una producción total de 46.483,9 kg/ha.

Introducción

España es el primer productor de melón, tanto en cantidad como en tipos y variedades cultivadas, de acuerdo con su diversidad agro climática, su consumo y interno y su vocación agraria (Anon, 1998).

En España se cultivan unas 43.200 has de las cua-

les 6.100 has se cultivan en la Comunidad de Murcia y 2.247 en la Comunidad de Valencia.

Como cultivo sin suelo podemos aceptar la siguiente definición: "El cultivo en sustrato es el cultivo de especies vegetales en un medio aislado del suelo (Cift, 1984)". El cultivo sin suelo permite un tratamiento uniforme y sin interacciones de elementos extraños al ser, de partida, un medio homogéneo, aislado del suelo y no contaminado.

Esta agricultura intensiva se dirige hacia el máximo aprovechamiento de los recursos hídricos.

Los cultivos sin suelo permiten mantener una nutrición hídrica y mineral ajustada a las necesidades de la planta en cada momento de su desarrollo. Aún así es inevitable mantener un porcentaje de lixiviación o drenaje (20-35% de la solución nutritiva entrante) para evitar una excesiva concentración salina (total o específica de algún determinado ion) en el entorno radicular, que se traducirá en pérdidas de rendimientos en los cultivos (Smith, 1987).

En zonas semiáridas como el Sudeste español existen varias razones de peso para la implantación y auge de los cultivos sin suelo, fundamentalmente el mejor aprovechamiento del agua, permitir el uso de agua de peor calidad y constituirse como alternativa al desinfectante de suelo bromuro de metilo.

La cantidad de agua necesaria dependerá de la zona, cultivo, condiciones climáticas, época del año, control climático del invernadero, tipo de sustrato y su contenedor, nivel salino del agua de riego (sobre todo en zonas áridas), etc. (Jesen y Malter, 1995). El grado de transpiración del cultivo es el factor más determinante a la hora de establecer el consumo de agua por parte del cultivo (Stanghellini y VanMeurs, 1989).

En el presente trabajo se estudia el consumo de agua y la producción obtenida en un cultivo de melón, en sistema abierto de cultivo sin suelo a solución perdida. Para ello se utilizan dos sustratos distintos, fibra de coco, turba y perlita, así como la relación que existe entre la producción y el consumo de agua por parte de las plantas a lo largo del ciclo de cultivo.

Material y métodos

El ensayo tuvo lugar en uno de los invernaderos situados en la finca de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. El invernadero es de tipo multitúnel de cuatro naves que tiene 8 m de ancho cada una y 30 m de largo, tiene una altura de 3.40 m hasta el canal y 4.30 m hasta la cumbre. Posee tanto unas ventilaciones cenitales, como unas ventilaciones laterales, todas ellas automáticas, controladas por un termostato y cubiertas por una malla antitrips de polietileno y 200 hilos/cm². El invernadero está constituido por planchas onduladas de policarbonato y fue encalado en dos ocasiones con carbonato cálcico durante todo el ciclo del cultivo.

La plantación se llevó a cabo el 30-3-99, en el ensayo fueron utilizadas plantas de melón tipo charentais pertenecientes a los cvs. Lutetia, 7004 y 7011. Los sacos de sustratos utilizados fueron de turba, fibra de coco (ambos con una longitud de 1 m) y perlita (con una longitud de 1.20 m). Se colocaron tres plantas por saco, obteniéndose una densidad de plantación de 2.5 plantas/m². La plantación se distribuyó en dos sectores.

Para tener conocimiento de la calidad del fruto se realizaron los siguientes controles: peso, longitud, anchura, profundidad de pulpa, cavidad de semillas, °Brix y dureza de la pulpa. A partir de estos datos calculamos la producción comercial, producción precoz (aquella obtenida durante el primer tercio de duración recolección), peso medio de los frutos comerciales, dureza, cavidad de las semillas, profundidad de la pulpa y relación longitud/anchura de los frutos. Las recolecciones se realizaron semanalmente.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 podemos observar el agua aportada a cada sustrato, el drenaje obtenido, el porcentaje de drenaje y por último el agua consumida. Destaca como el sustrato que mayor cantidad de agua consumió el de fibra de coco con 5.326,5 m³/ha, para una producción

de 44.999,4 kg/ha, en segundo lugar fue la turba con un consumo de 4.813,0 m³/ha y una producción de 46.483,9 kg/ha, por último el sustrato que menor cantidad de agua consumió fue la perlita con 4.296,3 m³/ha y una producción de 31.275,9 kg/ha.

Según los datos expuestos obtenemos los siguientes ratios de producción consumo de agua, los datos representan producción en kg por m³ de agua consumido:

- Fibra de coco: 8.45
- Turba: 9.66
- Perlita: 7.28

Los Gráficos 1, 2 y 3 representan los consumos de agua acumulados y por periodos durante el desarrollo del ensayo, para cada uno de los sustratos ensayados. Observamos que estos consumos acumulados representan perfectamente una línea de tendencia polinómica de 2º grado y en todos los casos presenta un coeficiente de regresión muy próximo a 1, indicando su gran adaptación.

La Tabla 2 presenta los datos de producción comercial por sustratos, y el calibre medio final de la producción, existiendo diferencias significativas al 95% entre el sustrato perlita con la fibra de coco y turba, y no presentan diferencias significativas entre estos últimos dos sustratos.

En la Tabla 3 observamos los calibres para cada uno de los sustratos. Los resultados indican que existen diferencias significativas al 95% entre la turba y perlita, con valores de 735.75 y 674.39 g/fruto respectivamente, por otra parte la fibra de coco no presenta diferencias significativas con ninguno de los anteriores y el peso medio de los frutos producidos en este sustrato es de 689.10 g/fruto.

Referencias

Alarcón, A.L.; Madrid, R.; Egea, C.; Rincón, L. 1997. Respuesta del melón Galia (cv. Revigal) sobre lana

de roca, a diferentes aguas de riego y zonas de cultivo. *Actas de Horticultura* 16: 91-97.

Alarcón, A.L.; Madrid, R.; Egea, C.; Brañas, F.J. 1998. Modelo de cultivo sin suelo con recirculado integral de lixiviados. *Actas de Horticultura* 21: 209-216.

Alarcón, A.L. 1998. Tendencias de la fertirrigación española. *Horticultura* nº 133. Págs. 38-51.

Donnan, R. 1994. Nutrient management in hydroponic system. *Practical Hydroponics and Greenhouses*, nº 16.

Egea, C.; Madrid, R.; Conesa, J.J.; Brañas, F.J. 1999. Consumo de agua y producción en cultivo de tomate en dos sustratos diferentes con recirculado de lixiviados en cultivo sin suelo. VIII Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. *Actas de Horticultura*, Págs. 65-70. Murcia.

Jensen, M. H.; Malter, A.J. 1995. Protected Agriculture: A Global Review. *World Bank Technical Paper* nº 253.

McAvoy, R.J. 1994. Nitrate nitrogen movement through the soil profile beneath a containerized greenhouse crop irrigated with two leaching fractions and two wetting agent levels. *Hort. Science* 119, 446-451.

Smith, D.L. 1987. *Rockwool in horticulture*. Grower Books. London: 55.

Stanghellini, C.; Van Meurs, W.T.M. 1989. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter. *Acta Horticulturae*, 254: 384-388.

Zekki, H.; Gauthier, L; Gosselin, A. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (6): 1082-1088.

Tabla 1

Análisis del agua de riego y de la disolución nutritiva de partida

| SUSTRATOS | Agua Aportada (m³/ha) | Agua Drenada (m³/ha) | % de Drenaje | Consumo de Agua (m³/ha) |
|------------|-----------------------|----------------------|--------------|-------------------------|
| Turba | 6456.50 | 1643.50 | 25.45 | 4813.00 |
| F. de Coco | 6527.50 | 1201.00 | 18.40 | 5326.50 |
| Perlita | 5322.00 | 1025.70 | 19.27 | 4296.30 |

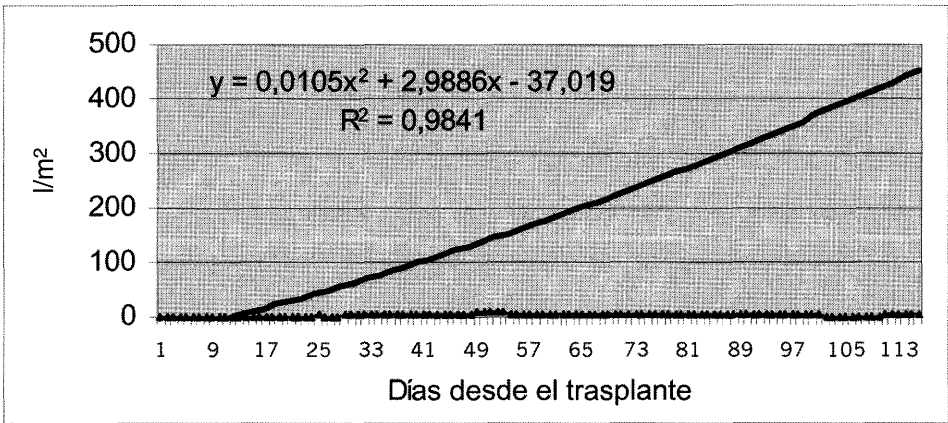


Figura 1. Agua consumida en el sustrato perlita

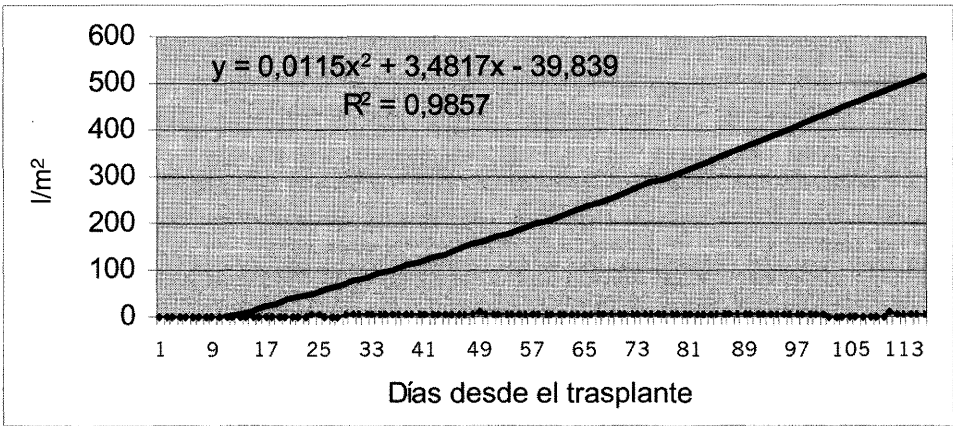


Figura 2. Agua consumida en el sustrato turba

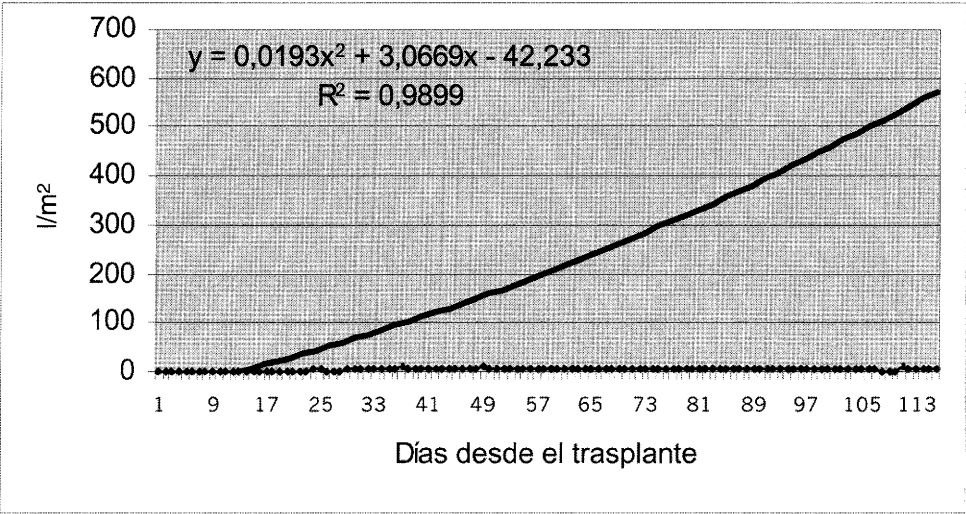


Figura 3. Agua consumida en el sustrato fibra de coco

Tabla 2
Producción comercial en función del sustrato

| TEST DE RANGO MÚLTIPLE (LSD al 95% de confianza) | | | |
|--|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| | Nº de Repeticiones Analizadas | Intervalos Medios (kg/ha) | Grupos Homogéneos |
| Perlita | 18 | 31.275,9 | a |
| Turba | 12 | 46.483,9 | b |
| F. de Coco | 12 | 44.999,4 | b |

Tabla 3
Calibre del fruto en función del sustrato

| TEST DE RANGO MÚLTIPLE (LSD al 95% de confianza) | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| | Nº de Repeticiones Analizadas | Intervalos Medios (g) | Grupos Homogéneos |
| Perlita | 18 | 674,391 | a |
| Turba | 12 | 735,751 | b |
| F. de Coco | 12 | 689,103 | a b |

Contribución al estudio de la evolución del crecimiento del diámetro, altura y volumen del fruto de la palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.) respecto al riego suministrado en un vivero de la zona de Crevillente (Alicante)

■ **R. Martínez Valero; R. Martínez Font; J.J. Martínez Nicolás; M. Sánchez**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Resumen

Con el objeto de conocer la evolución del crecimiento del fruto de la palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.), se han realizado mediciones semanales de los frutos, y se ha observado que el crecimiento del fruto es de tipo sigmoidal y con una duración de unos 160 días en las condiciones climáticas y de riego tradicional en la zona de Crevillente (Alicante).

Abstract

The objective of this study is to know the growth evolution of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.), whereby for searching growth evolution, we measure every week the height of diameter of each fruits labeled. The outcome of this study is achieve fruit growth curve of the date palm tree that is sigmoidal and the period of growing fruit was near of 160 days in the traditional environment of Crevillente (Alicante) area.

Introducción

La palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.) fructifica en bayas monocarpelares producidas a partir de uno de los tres carpelos libres del gineceo coricárpico que posee la flor, poseyendo el fruto su semilla dentro del sarcocarpo azucarado, que es dura porque acumula celulosa de reserva [6].

El inicio de la fructificación se origina por la fusión del gameto masculino llevado por el tubo polínico a la ovocélula, originándose el cigoto. La ovocélula comparativamente pobre en organización citoplásmica y bastante quiescente metabólicamente antes de la singamia, sufre repentinamente transformaciones cuando la fertilización se ha efectuado [3].

En este contexto la evolución del fruto depende:

- a) De la precocidad del cultivar, que depende de la rapidez de crecimiento.
- b) El tamaño de las células que pueden ser afectadas por el número de flores, siendo el porcentaje de cuajado, la fertilización y el riego por la relación superficie foliar/fruto, etc.

c) La climatología, que influencia la forma del fruto, ya que éste puede ser más alargado en lugares donde las diferencias de temperatura del día y de la noche son mayores, que donde hay un menor salto térmico [7].

Por tanto siendo muy importante para la zona, el conocer la evolución en el tiempo del volumen del fruto de la palmera datilera en las condiciones del clima y del riego tradicional de la zona de Crevillente (Alicante), es por lo que se realiza este estudio.

Material y métodos

El material con el que se ha efectuado este estudio son los frutos de doce palmeras datileras de unos dos metros de altura en un vivero comercial de Crevillente (Alicante), que se regaban a pie durante el año 1997, con un caudal de 50 litros por segundo, tardándose en regar una tahulla (aproximadamente una octava parte de la hectárea) una hora, lo que equivale a 1.440 metros cúbicos por hectárea. Dándose durante el año ocho riegos, durante los meses de febrero, marzo, mayo, junio, julio, agosto, octubre (después de la recolección del dátil) y a finales de noviembre. En septiembre no se dio con el fin de no reblandecer excesivamente el fruto. Totalizándose 11.520 metros cúbicos por hectárea y año.

Siendo las necesidades de riego aplicadas las dimanantes de la ETo y lluvia medias obtenidas en mm en la Estación Experimental Agraria de Elche (Alicante) [2], las siguientes:

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ag. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| Eto | 41.7 | 53.6 | 75.5 | 113.7 | 127.8 | 151.4 | 165.3 | 146.9 | 112.1 | 78.5 | 46.4 | 45.5 | 1158,3 |
| P | 24.5 | 14.4 | 28.2 | 15.3 | 25.6 | 22.8 | 1.1 | 0.1 | 38.6 | 26.2 | 19.1 | 24.7 | 240.8 |

FUENTE: Página Web del I.V.I.A (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Valencia). C.A.P.A.

Cantidad aproximadamente coincidente con los metros cúbicos evaporados en la zona tal como indica los 1.158,3 mm anuales en Elche.

La metodología empleada ha sido la medición del

diámetro y la altura de los dátiles durante todas las semanas desde el cuajado hasta la recolección. Para lo cual se midieron siete frutos por palmera en cada una de las doce palmeras elegidas, es decir 84 frutos en total. Con un fruto central y con tres frutos más a la derecha y otros tres a la izquierda, es decir los 7 indicados en cada orientación siguiente:

| Palmera | Orientación | Nivel en el racimo | Nº. de frutos |
|---------|-------------|---------------------|---------------|
| 1 | Norte | En la parte baja | 7 |
| 2 | Sur | “ | 7 |
| 3 | Este | “ | 7 |
| 4 | Oeste | “ | 7 |
| 5 | Norte | En la parte central | 7 |
| 6 | Sur | “ | 7 |
| 7 | Este | “ | 7 |
| 8 | Oeste | “ | 7 |
| 9 | Norte | En la parte alta | 7 |
| 10 | Sur | “ | 7 |
| 11 | Este | “ | 7 |
| 12 | Oeste | “ | 7 |

Para realizar la selección de frutos se siguió el siguiente criterio:

Se seleccionaron doce palmeras de porte uniforme, evitando las que estuviesen en el borde de la parcela, eligiendo los frutos más representativos tanto el central como los laterales. Con los que se efectuaron todas las mediciones a lo largo del ciclo.

Las mediciones se hicieron con un calibre pie de rey “Digimatic”, de Mitutoyo y siempre realizadas por la misma persona, con el fin de evitar variabilidad en los errores de medición.

En cada fruto se realizó la medida de los diámetros polar y ecuatorial, y en cada palmera se obtuvo la media aritmética de los frutos, y con las medias de las doce palmeras se realizó la curva de desarrollo del

fruto en función del tiempo, de acuerdo con Chalmers *et al.*, [1]. Comenzando dicha curva una semana después de originarse el cigoto, cuando se observó el cuajado del fruto.

Resultados

El resultado de las mediciones realizadas a lo largo del periodo de desarrollo del fruto hasta la recolección con sus fechas, el volumen de cada uno de ellos y las medias con sus desviaciones típicas de todos los frutos en cada semana, se indican en el cuadro número 1.

Asimismo, la curva de la evolución del volumen del fruto, su ecuación y los coeficientes de correlación y determinación vienen representados en la figura número 1.

Discusión

De los datos obtenidos y después de obtener la curva de la evolución del volumen del fruto, podemos deducir que:

- a) Que hay una primera fase en la que el fruto crece exponencialmente con respecto al tiempo.
- b) Que a continuación hay una segunda fase que es lineal.
- c) Y que hay una tercera y última fase que viene a ser de tipo hiperbólico.

Por otro lado, habiéndose observado el ciclo vegetativo durante todo un año en palmeras datileras de dos años y medio (tercera hoja de trasplante) en riego por goteo. Esta circunstancia nos permite vislumbrar que en riego por goteo en palmeras dedicadas a la producción de dátiles, con una producción esperada de unos 80 kilos por palmera en dátiles comerciales, y a un marco de plantación de 6 x 6 metros. El agua a aplicar en cada palmera con cuatro goteros de 4 l/h, sería la de un 30 % menos de la cantidad aplicada habitualmente en el riego tradicional por inundación. Como ejemplo exponemos el cuadro de las necesidades teóricas de la palmera datilera por la fórmula de

Giménez [4] modificada por nosotros, en el área de Elche-Crevillente.

| Mes | ETo | Kc | N. agua m³/Ha | N. agua acumuladas |
|--------|-------|------|------------------|-----------------------|
| Ene-99 | 41,7 | 0,25 | 145,116 | 145,116 |
| Feb-99 | 53,6 | 0,25 | 186,528 | 331,644 |
| Mar-99 | 75,5 | 0,25 | 262,740 | 594,384 |
| Abr-99 | 113,7 | 0,45 | 712,217 | 1306,601 |
| May-99 | 127,8 | 0,6 | 1067,386 | 2373,986 |
| Jun-99 | 151,4 | 0,7 | 1475,242 | 3849,228 |
| Jul-99 | 165,3 | 0,8 | 1840,781 | 5690,009 |
| Ago-99 | 146,9 | 0,8 | 1635,878 | 7325,887 |
| Sep-99 | 112,1 | - | - | 7325,887 |
| Oct-99 | 78,5 | 0,4 | 437,088 | 7762,975 |
| Nov-99 | 46,4 | 0,3 | 193,766 | 7956,742 |
| Dic-99 | 45,5 | 0,25 | 158,340 | 8115,082 |
| TOTAL | | | 8115,082 | |

Conclusión

De todo lo anteriormente indicado, se deduce que la curva de desarrollo del fruto es de tipo sigmoideal [5] y con una duración aproximada de unos 160 días en las condiciones en las condiciones climáticas y del riego tradicionalmente aplicado en la zona de Crevillente (Alicante).

Bibliografía

1) CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D. and JERIE, P.H. 1982. The physiology of growth control of peach an pear trees visiting recorded irrigation. Acta Hortoculturae nº 78: 75-90.

2) I.V.I.A. 2000. Página Web (<http://www.ivia.es/estacion>). Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Generalitat Valenciana. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Valencia.

3) KRISHNAMURTHY, K.V. 1994. The Angiosperm Embryo: Correlative Controls in Development, Differentiation and Maturation. In IQBAL, M. (Editor): "Growth Patterns in Vascular Plants". Portland, Oregon: Dioscorides Press, 372-404 pp.

4) GIMÉNEZ, M. 1998. Comunicación personal.

5) SALISBURY, F.B. and ROSS, C.W. 1992. Plant

Physiology. Belmont, California: Wadsworth Publishing Co., 329-356 pp.

6) STRASBURGER, E. 1986. Botánica. Editorial Marin. Barcelona. 908-910 pp.

7) WESTWOOD and BURKHART. 1968. In MV. WESTWOOD. 1978. "Temperature-zone Pomology". San Francisco, California: WH Freeman and Co., 199-219 pp.

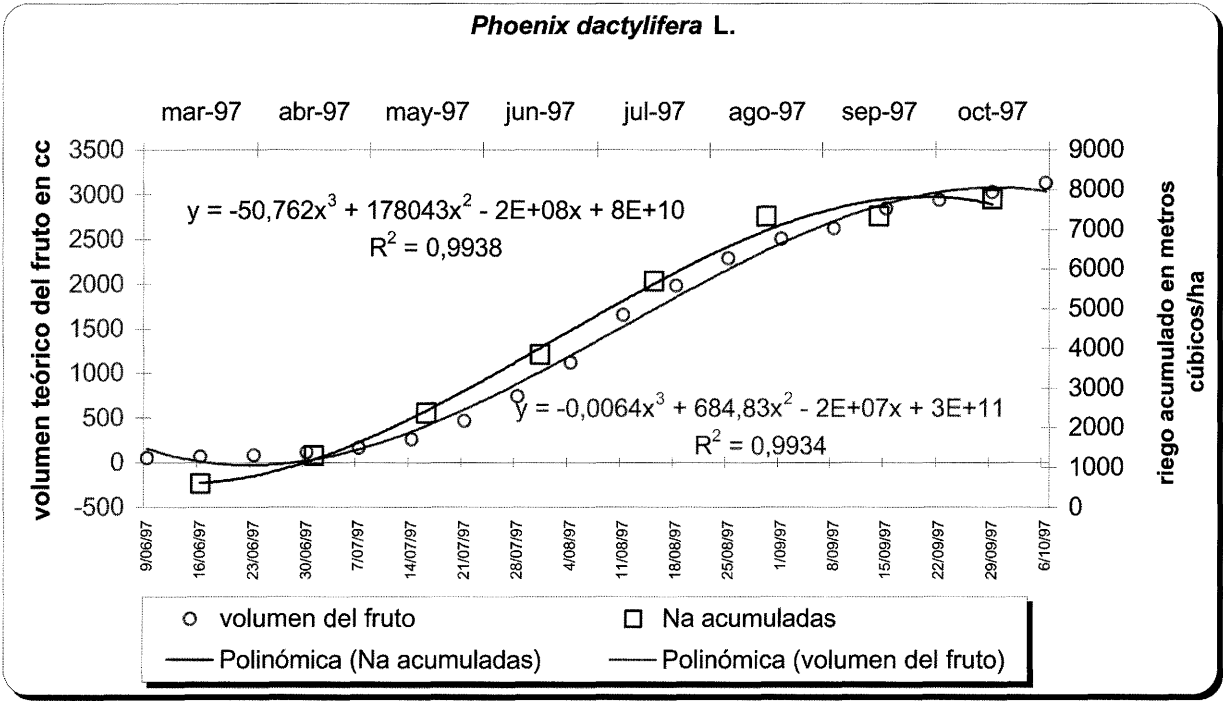


Figura 1 . Curva de crecimiento de la palmera datilera (*Phoenix dactylifera* L.).

Tabla 1

Resultados de las medidas de los frutos. (Diámetro polar, diámetro ecuatorial y volumen)

| Zona del reclamo | Posición | 09/06/97 | 16/06/97 | 23/06/97 | 30/06/97 | 07/07/97 | 14/07/97 | 21/07/97 | 28/07/97 | 04/08/97 | 11/08/97 | 18/08/97 | 25/08/97 | 01/09/97 | 08/09/97 | 15/09/97 | 22/09/97 | 29/09/97 | 06/10/97 | Medias |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | | D | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | H | |
| BAJA | Norte | 4.53 | 4.88 | 5.37 | 6.10 | 7.55 | 9.04 | 11.32 | 13.11 | 14.70 | 15.92 | 17.59 | 18.29 | 18.69 | 18.79 | 18.89 | 19.18 | 19.42 | 18.98 | 13.50 |
| | H | 4.86 | 5.52 | 6.43 | 7.79 | 10.30 | 13.28 | 17.55 | 20.89 | 23.86 | 26.45 | 29.25 | 30.56 | 31.30 | 31.49 | 31.67 | 32.23 | 32.68 | 31.84 | 21.61 |
| | | 48.54 | 60.81 | 80.99 | 118.60 | 224.38 | 386.17 | 760.32 | 1180.61 | 1614.63 | 2114.43 | 2849.24 | 3202.61 | 3416.95 | 3471.49 | 3520.60 | 3696.66 | 3837.02 | 3577.91 | 1919.08 |
| | Sur | 4.69 | 4.77 | 4.77 | 5.10 | 5.25 | 5.94 | 7.32 | 8.51 | 9.00 | 8.77 | 9.79 | 9.99 | 10.39 | 10.39 | 14.19 | 14.48 | 14.48 | 14.48 | 9.03 |
| | H | 5.16 | 5.32 | 5.31 | 5.93 | 6.21 | 7.49 | 10.09 | 12.31 | 13.22 | 13.76 | 14.69 | 15.06 | 15.25 | 15.80 | 22.90 | 23.45 | 23.45 | 21.98 | 13.27 |
| | | 53.88 | 56.79 | 56.76 | 69.28 | 75.59 | 109.46 | 205.70 | 323.03 | 381.96 | 353.40 | 401.16 | 521.73 | 537.43 | 585.64 | 1494.50 | 1590.95 | 1590.88 | 1345.03 | 564.96 |
| | Este | 4.74 | 4.87 | 4.97 | 5.10 | 5.65 | 6.44 | 8.12 | 9.41 | 11.00 | 11.69 | 13.09 | 13.99 | 14.69 | 15.29 | 16.38 | 16.38 | 16.38 | 17.14 | 10.88 |
| | H | 5.25 | 5.30 | 5.69 | 5.93 | 6.56 | 8.43 | 11.38 | 13.99 | 16.95 | 18.80 | 20.85 | 22.53 | 23.83 | 24.95 | 26.44 | 27.09 | 27.09 | 28.41 | 16.73 |
| | | 55.62 | 60.44 | 64.20 | 69.28 | 94.24 | 139.52 | 280.74 | 436.70 | 697.26 | 836.11 | 1174.16 | 1438.09 | 1688.92 | 1870.24 | 2179.06 | 2302.77 | 2333.63 | 2636.36 | 1035.44 |
| | Oeste | 4.46 | 4.92 | 4.97 | 5.70 | 6.85 | 8.44 | 10.72 | 12.61 | 15.00 | 16.84 | 18.99 | 20.09 | 20.79 | 21.29 | 21.28 | 21.28 | 21.58 | 21.24 | 14.29 |
| MEDIA | Norte | 4.73 | 5.60 | 5.69 | 7.05 | 9.19 | 12.16 | 16.43 | 19.96 | 24.42 | 28.13 | 31.87 | 33.92 | 35.22 | 35.59 | 36.15 | 36.15 | 36.71 | 36.08 | 23.10 |
| | H | 46.33 | 62.32 | 64.20 | 96.75 | 168.00 | 314.23 | 645.76 | 1050.64 | 1767.85 | 2501.47 | 3385.19 | 4244.39 | 4703.19 | 4839.49 | 5049.24 | 5048.38 | 5264.73 | 5020.23 | 2488.77 |
| | Sur | 5.49 | 5.53 | 5.77 | 6.70 | 7.35 | 8.64 | 10.22 | 11.71 | 12.90 | 14.49 | 14.79 | 14.99 | 14.89 | 14.89 | 14.99 | 14.98 | 14.98 | 16.89 | 11.72 |
| | H | 6.66 | 6.74 | 7.18 | 8.91 | 10.13 | 12.53 | 15.50 | 18.28 | 20.50 | 23.84 | 24.02 | 24.40 | 24.21 | 24.21 | 24.39 | 24.39 | 24.39 | 27.95 | 18.29 |
| | | 86.45 | 89.50 | 100.48 | 157.18 | 207.56 | 337.12 | 559.58 | 841.40 | 1124.53 | 1593.41 | 1693.65 | 1762.94 | 1727.61 | 1727.23 | 1761.89 | 1761.46 | 1761.39 | 2524.85 | 1119.03 |
| | Este | 5.04 | 5.27 | 5.67 | 5.90 | 6.55 | 8.34 | 8.72 | 10.11 | 11.90 | 18.16 | 15.19 | 16.19 | 16.99 | 17.59 | 18.38 | 18.38 | 18.58 | 18.51 | 12.54 |
| | H | 5.81 | 6.25 | 6.99 | 7.42 | 8.63 | 11.97 | 12.70 | 15.29 | 18.63 | 30.56 | 24.77 | 26.64 | 28.13 | 29.25 | 29.99 | 30.74 | 31.11 | 30.98 | 19.82 |
| | | 66.87 | 76.59 | 95.34 | 107.30 | 146.87 | 303.19 | 347.65 | 541.55 | 882.79 | 1317.17 | 1834.83 | 2221.19 | 2566.68 | 2847.83 | 3046.05 | 3253.21 | 3360.43 | 3323.02 | 1582.44 |
| | Oeste | 4.64 | 5.17 | 5.77 | 6.10 | 6.75 | 7.74 | 9.52 | 11.51 | 13.20 | 14.95 | 16.49 | 17.09 | 17.29 | 17.39 | 17.49 | 17.88 | 14.98 | 14.21 | 12.17 |
| | H | 5.07 | 6.06 | 7.18 | 7.79 | 9.01 | 10.85 | 14.19 | 17.91 | 21.06 | 24.68 | 27.20 | 28.32 | 28.69 | 28.87 | 29.06 | 29.80 | 24.39 | 22.94 | 19.14 |
| ALTA | Norte | 5.21 | 7.21 | 100.48 | 118.60 | 160.75 | 242.31 | 452.33 | 799.03 | 1204.81 | 1750.65 | 2347.41 | 2612.64 | 2705.08 | 2751.77 | 2759.00 | 2994.92 | 1761.39 | 1502.32 | 1375.19 |
| | H | 4.92 | 4.93 | 4.97 | 5.10 | 5.35 | 6.14 | 7.72 | 9.41 | 11.48 | 12.94 | 14.69 | 15.69 | 16.39 | 16.69 | 17.19 | 17.28 | 20.24 | 21.54 | 11.85 |
| | Oeste | 5.59 | 5.62 | 5.69 | 5.93 | 6.39 | 7.87 | 10.83 | 13.99 | 17.85 | 21.04 | 23.84 | 25.70 | 27.01 | 27.37 | 28.50 | 28.68 | 34.21 | 36.64 | 18.53 |
| | H | 6.21 | 6.31 | 6.47 | 6.80 | 7.65 | 8.94 | 10.82 | 12.51 | 14.60 | 16.03 | 17.49 | 18.29 | 18.89 | 18.99 | 19.09 | 19.38 | 19.39 | 19.21 | 13.45 |
| | | 4.18 | 4.31 | 5.47 | 5.30 | 5.47 | 6.52 | 8.17 | 10.69 | 13.09 | 16.62 | 26.64 | 29.06 | 30.56 | 31.68 | 32.04 | 32.50 | 32.62 | 32.27 | 21.53 |
| | Sur | 38.13 | 41.89 | 65.60 | 130.66 | 234.05 | 373.49 | 663.99 | 1025.85 | 1630.18 | 2155.54 | 2800.92 | 3202.61 | 3527.83 | 3583.54 | 3639.84 | 3813.49 | 3819.27 | 3709.76 | 1933.45 |
| | H | 4.21 | 4.46 | 6.62 | 8.17 | 10.69 | 13.09 | 16.62 | 19.77 | 23.67 | 26.64 | 29.06 | 30.56 | 31.68 | 31.86 | 32.04 | 32.50 | 32.62 | 32.27 | 21.53 |
| | Oeste | 5.00 | 5.21 | 5.67 | 6.40 | 7.35 | 8.24 | 10.32 | 12.31 | 14.30 | 15.82 | 17.19 | 18.19 | 18.99 | 19.49 | 19.89 | 19.98 | 20.24 | 21.54 | 13.70 |
| | H | 5.74 | 6.14 | 6.99 | 8.35 | 10.13 | 11.79 | 15.69 | 19.40 | 23.11 | 26.27 | 28.50 | 30.37 | 31.86 | 32.79 | 33.54 | 33.72 | 34.21 | 36.64 | 21.99 |
| | | 65.29 | 74.01 | 95.34 | 136.98 | 207.56 | 292.41 | 576.16 | 977.44 | 1531.75 | 2074.21 | 2659.24 | 3150.36 | 3584.17 | 3874.18 | 4117.01 | 4178.68 | 4343.78 | 5235.70 | 2083.32 |
| ALTA | Sur | 5.25 | 5.71 | 6.37 | 7.00 | 6.85 | 7.44 | 9.22 | 10.61 | 11.80 | 12.84 | 13.99 | 14.59 | 15.19 | 15.69 | 15.99 | 15.98 | 15.07 | 15.41 | 11.49 |
| | H | 6.21 | 7.07 | 8.30 | 9.47 | 9.19 | 10.29 | 13.63 | 16.23 | 18.45 | 20.85 | 22.53 | 23.65 | 24.77 | 25.70 | 26.26 | 26.25 | 26.42 | 25.18 | 17.87 |
| | Oeste | 75.59 | 97.43 | 135.21 | 179.26 | 168.00 | 215.20 | 410.92 | 625.91 | 860.03 | 1107.99 | 1433.40 | 1625.53 | 1834.17 | 2020.93 | 2138.67 | 2138.19 | 2174.43 | 1915.35 | 1082.35 |
| | H | 4.61 | 4.60 | 5.57 | 6.40 | 7.25 | 8.24 | 9.32 | 10.91 | 12.00 | 12.63 | 13.59 | 14.09 | 14.19 | 14.19 | 14.69 | 14.88 | 15.02 | 14.25 | 10.97 |
| ALTA | Sur | 5.01 | 5.00 | 6.81 | 8.35 | 9.94 | 11.79 | 13.82 | 16.79 | 18.82 | 20.48 | 21.78 | 22.72 | 22.90 | 22.90 | 23.83 | 24.20 | 24.46 | 23.03 | 16.89 |
| | H | 5.16 | 5.93 | 90.38 | 136.98 | 199.20 | 292.41 | 424.43 | 680.50 | 905.23 | 1054.98 | 1313.93 | 1464.05 | 1495.20 | 1494.85 | 1658.17 | 1726.43 | 1775.54 | 1516.46 | 925.35 |
| | Oeste | 56.52 | 67.06 | 86.10 | 115.85 | 163.90 | 260.54 | 464.07 | 743.28 | 1120.30 | 1651.22 | 1986.89 | 2288.57 | 2505.12 | 2625.07 | 2888.55 | 2934.05 | 3034.05 | 2760.85 | 276.85 |
| | H | 5.36 | 5.77 | 6.57 | 7.59 | 8.91 | 10.36 | 14.05 | 17.07 | 20.05 | 23.46 | 24.86 | 26.20 | 27.07 | 27.58 | 28.73 | 29.10 | 29.31 | 29.49 | 29.49 |

Contribución al estudio de las observaciones externas de flores y frutos coincidentes con los estados fenológicos internos de los frutos del naranjo cv. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) con respecto al riego suministrado

■ **R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; J.J. Martínez Nicolás**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Resumen

Se ha estudiado en el CV. Salustiana (Citrus sinensis (L.) Osbeck) el crecimiento de los frutos de esta variedad a lo largo de su cultivo en esta zona tradicionalmente deficitaria en riegos, siendo la metodología seguida el realizar en laboratorio fotografías semanales de los frutos seleccionados de igual calibre a los etiquetados en el campo. Dando como resultado el establecimiento de los estados fenológicos internos de los frutos con respecto a un riego normal aplicado en el área de Orihuela (Alicante).

Abstract

In CV. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) we are studied fruits growth during your developing period in this area of traditional deficits of irrigation. The methodology was based in the weekly photographs of fruits sections of similar size as others previously labeled ones in orchad. The result was to achieve stage models as consequence of internal fruit

development according normal applied irrigation in Orihuela (Alicante) area.

Introducción

El conocimiento de los estados fenológicos internos del naranjo en general y del CV. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en particular, es importante conocerlo no solo desde el punto de vista del crecimiento con el fin de servir de base para futuros estudios de las fisiopatías propias de los frutos cítricos, sino también como base de una futura sistemática del crecimiento interno de los frutos.

En las frutas cítricas el crecimiento es de tipo sigmoidal desde la antesis hasta su maduración, en el cual se pueden distinguir tres periodos netamente diferenciados [1]. El primero es de tipo logarítmico desde la antesis hasta la caída de junio, el segundo es de tipo lineal desde la caída de junio hasta el inicio del cambio de color y el tercero de tipo hiperbólico desde el cambio de color hasta la maduración. Mas aunque en todos ellos se tiene en cuenta el crecimiento exterior del fruto, nada se ha especificado hasta ahora sobre la sis-

temática del crecimiento interno de estos frutos, y en consecuencia es por lo que se realiza este estudio.

Material y métodos

El estudio se ha realizado en naranjas salustianas procedentes de árboles sobre patrón amargo (*Citrus aurantium* L.) de doce años de edad y con un marco de plantación de 6 x 4 m en una finca ubicada en el termino municipal de Orihuela (Alicante), en el paraje de La Matanza. Los árboles presentaban un buen aspecto fitosanitario y las prácticas culturales eran las típicas de la zona, por lo que éstos no presentaban problemas visibles de nutrición o de enfermedades. El suelo presenta pH básico y capacidad de cambio media. La estructura de los árboles el vaso típico de la zona.

La dotación de agua aplicada en dicho cultivo es de 5.862,9 m³, realizándose el riego por goteo, con aguas procedentes de aguas del trasvase Tajo-Segura (CEw 1.700 mmhos).

El riego aplicado ha sido:

| | Enero | Feb. | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | TOTAL |
|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Horas | | | | | | | | | | | | | |
| por día | 1 | 1.30 | 2.3 | 3 | 4.5 | 5 | 7.5 | 5 | 4.5 | 3 | 1.3 | 1 | |
| Metros | | | | | | | | | | | | | |
| cúbicos | 148.8 | 193.44 | 342.24 | 446.4 | 669.6 | 744 | 1.116 | 744 | 669.6 | 446.4 | 193.44 | 148.8 | 5862.9 |

El método utilizado consistió en la elección de las líneas de árboles en una zona homogénea de la finca, con árboles sanos de porte uniforme. Para seleccionar los más característicos de la parcela se eligieron diferentes árboles de la misma fila, procurando siempre realizar dicha elección en el centro de la parcela para evitar problemas de heterogeneidad por el efecto borde. Finalmente se escogieron doce árboles a finales del mes de febrero.

En estos árboles se seleccionaron los futuros frutos, por lo que para conseguir la máxima homogeneidad posible en las muestras, se procedió a marcar mediante etiquetas un total de 48 brotes con flores en tres niveles y en cuatro orientaciones. Así, el árbol queda-

ba dividido en un nivel bajo, uno medio y uno alto, por lo que en cada árbol se tomaron cuatro brotes con sus frutos, uno en cada orientación, es decir, en los cuatro primeros árboles del primer nivel se tomaron cuatro frutos de cada uno. Del mismo modo en el segundo nivel se tomaron cuatro frutos en cada uno de los cuatro árboles y en el tercer nivel otros cuatro frutos en cada uno de los mismos.

La selección de los frutos se realizó en el árbol al finalizar la caída de pétalos, escogiendo los frutitos de color verde intenso y de forma ovalada, ya que estos tienen más posibilidades de superar las caídas de frutos, con el fin de conseguir una muestra representativa y homogénea del crecimiento del fruto en el árbol.

Una vez por semana y durante el periodo comprendido entre el cuajado y la maduración, se realizaron las operaciones de medición de los frutos, cálculo de las medias, recogida de las muestras y fotografía de las mismas en el laboratorio. Una vez conocida la media de cada orientación se tomaban de los árboles vecinos cuatro frutos de cada orientación y de dimensiones

similares a la media aritmética realizada en las cuatro orientaciones medidas.

Estos frutos se llevaban al laboratorio y se seccionaban ecuatorialmente, se colocaban encima de un papel milimetrado, junto con una etiqueta de la medida, y rápidamente (4 ó 5 segundos) se fotografiaban. Al finalizar la recolección de los frutos teníamos fotografiada la evolución de la fenología interna de los frutos desde la antesis hasta la recolección.

Resultados

Semana 1. A partir de este semana empiezan a caer las flores no fecundadas.

Semana 2. Sigue la caída de flores no fecundadas.
Semana 3. Sigue la caída de flores no fecundadas.
Semana 4. Coincide con el fin de la caída de flores no fecundadas.

Semana 5. Hay una parada en la caída de flores y los frutos comienzan a engordar muy rápidamente. Estado A.

Semana 6. Empieza la caída de frutos con pedicelo y los frutos siguen engordando. Estado A-1.

Semana 7. Continúa la caída de pequeños frutos con pedicelo debido a la competencia nutricional. Estado A-2.

Semana 8. Se observa todavía alguna caída de frutos con pedicelo. Estado A-3.

Semana 9. Coincide con las últimas caídas de frutos con pedicelo. Estado A-4.

Semana 10. Se observa por primera vez la caída de algunos frutos sin pedicelo quizás debido a malformaciones externas e internas. Final de la méresis. Estado A-5.

Semana 11. Inicio de la caída de junio de los frutos gorditos sin pedicelo. Estado A-6.

Semana 12. Plena caída de junio [2] y empiezan a llenarse las primeras vesículas de agua. Estado B.

Semana 13. Fin de la caída de junio y claramente se aprecia el llenado de agua de las vesículas. Estado B-2.

Semana 14. Aumento en el llenado de las vesículas con aumento del carpelo y disminución relativa de la corteza. Estado B-3.

Semana 15. Las vesículas continúan llenándose y también el carpelo con disminución de la corteza al estirarse. Estado B-4.

De la semana 16 a la 29, las características similares a la semana 15, es decir, aumentando el carpelo con llenado de jugo y disminución relativa de la corteza.

Semana 16. Estado B-5.

Semana 17. Estado B-6.

Semana 18. Estado B-7.

Semana 19. Estado B-8.

Semana 20. Estado B-9.

Semana 21. Estado B-10.

Semana 22. Estado B-11.

Semana 23. Estado B-12.

Semana 24. Estado B-13.

Semana 25. Estado B-14.

Semana 26. Estado B-15.

Semana 27. Estado B-16.

Semana 28. Estado B-17.

Semana 29. Estado B-18.

Semana 30. Empiezan a observarse claramente el desencadenamiento de los fenómenos de la madurez. Estado C-1.

De la semana 31 a la 34 han comenzado los cambios progresivos de color del fruto, tanto interna como externamente.

Semana 31. Estado C-2.

Semana 32. Estado C-3.

Semana 33. Estado C-4.

Semana 34. Estado C-5.

Semana 35. Momento de la recolección comercial ya que el fruto se puede comer perfectamente con la relación azúcar/acidez $> 6,5$. Estado C-6.

Semana 36. Aumento de color en la corteza y en la pulpa. Estado C-7.

Semana 37. Se observa como la estrella se abre como momento de madurez fisiológica con la abertura de la estrella y cambio de color en la piel. El fruto dejará de recibir nutrientes y comenzarán los procesos de senescencia del mismo. Estado C-8.

Discusión

De la observaciones semanales observadas de los frutos diseccionados, con arreglo al riego aplicado para una cosecha aproximada de unas 45 tn/ha. Podemos deducir que los estados fenológicos internos obtenidos y las apreciaciones externas observadas en paralelo, nos vienen a poner de manifiesto que en diferentes estados fenológicos (A y B) tienen lugar los crecimientos de la corteza, de los carpelos y del eje central, con relación al crecimiento del fruto en su conjunto.

Así como también ante cualquier contingencia estos crecimientos pueden tener relación con las fisiopatías observadas, por lo que los estados fenológicos de los frutos pueden contribuir a mejorar las producciones obtenidas.

Conclusión

De lo anterior se deduce que el estudio de los estados fenológicos internos de los frutos del naranjo CV Salustiana y del conocimiento de la evolución del crecimiento del fruto en general y de sus partes en particular, bajo las condiciones ecológicas e hídricas de la cuenca del Segura van a ser determinantes en el objetivo de mejorar la calidad y la producción de esta variedad.

Bibliografía

1) BAIN, J.M. 1958. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of Valencia orange, (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Aust. J. Bot., 6: 1-24.

2) SALISBURY, F.B. and ROS, C.W. 1992. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California. 682 pp.

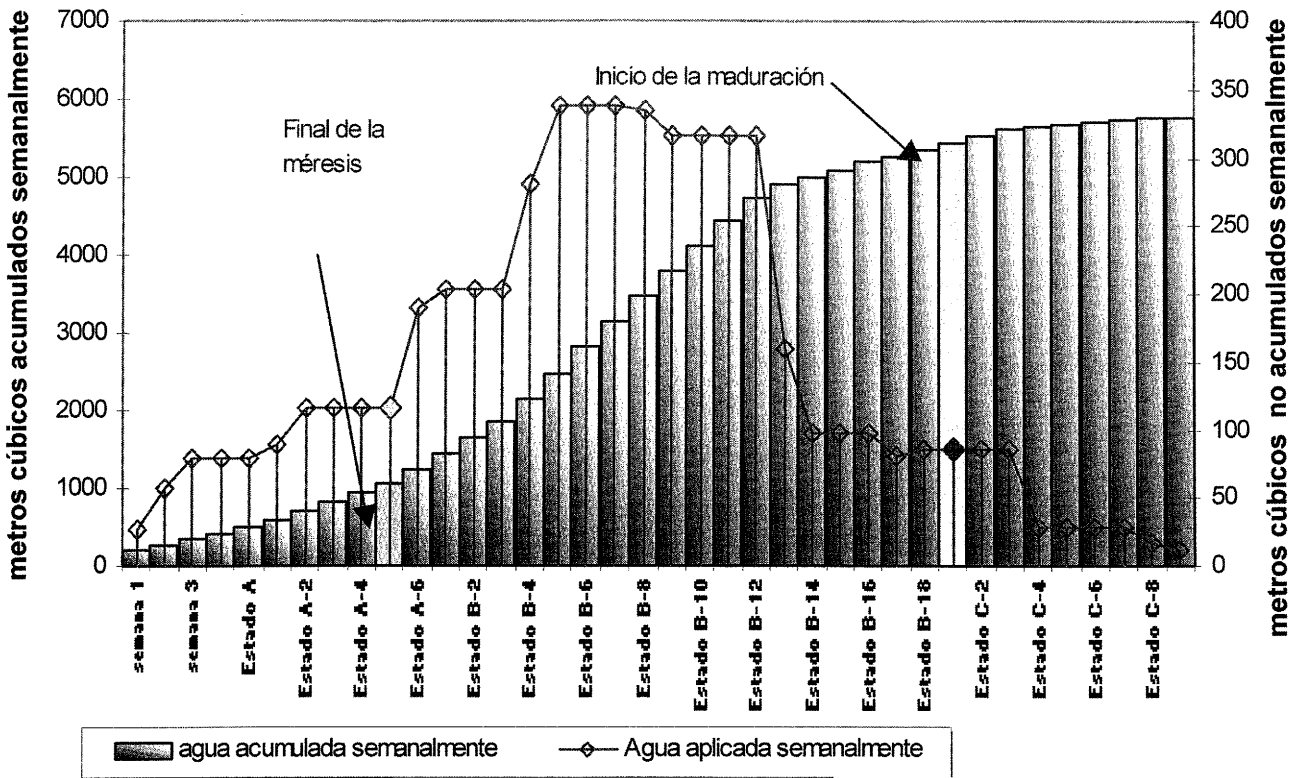


Figura 1. Estados fenológicos con respecto al agua suministrada, acumulada y no acumulada.

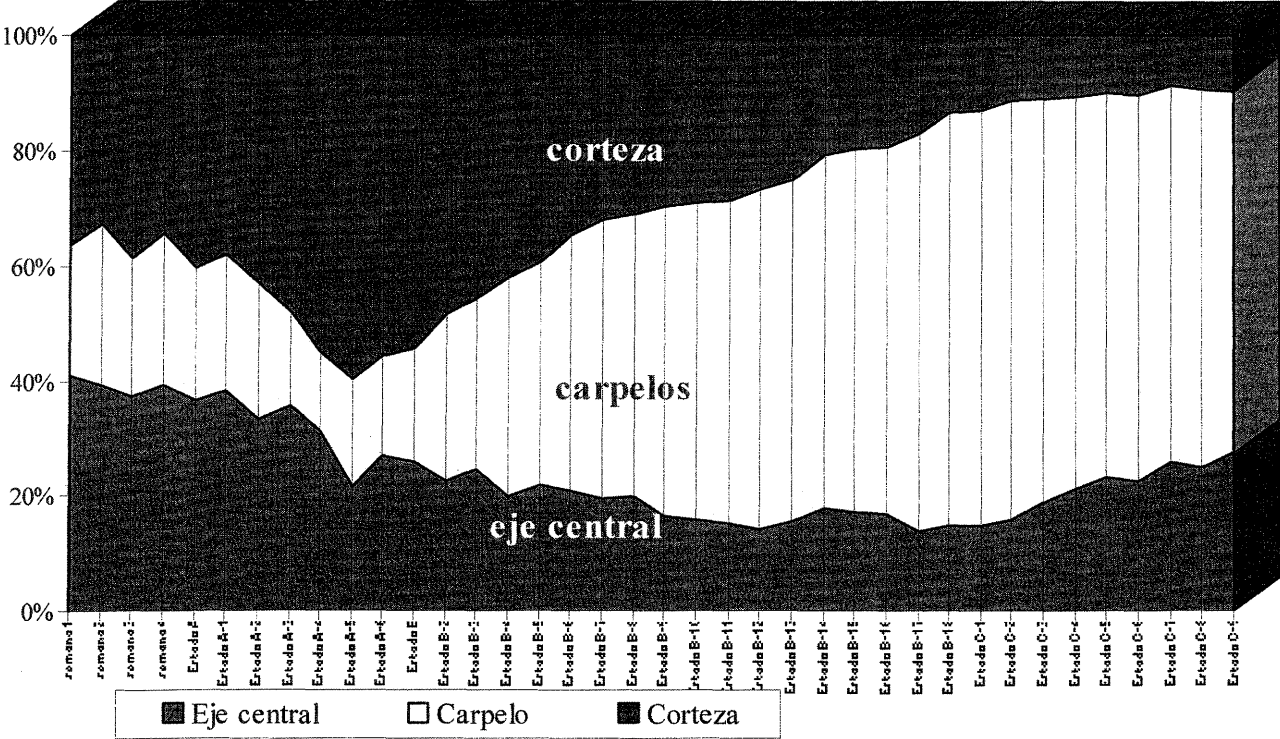


Figura 2. Gráfica porcentual del CVR Salustiana y estados fenológicos.

Contribución al estudio de la relación entre el riego suministrado y la evolución de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de los frutos del naranjo cv. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)

■ **R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; H. Gimeno**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Resumen

*El medio ecológico de la zona de Orihuela condiciona el crecimiento de los cítricos en general y de las naranjas en particular. De modo que dado que el naranjo CV. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) es una variedad que permite la recolección temprana o tardía según convenga, la convierte en una variedad de interés en el área de la cuenca del río Segura deficitaria en riegos. Por lo que ésta circunstancia como puede influir en la evolución del crecimiento de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de esta fruta tan apreciada, será necesaria conocerla como base de futuros estudios para mejorar la calidad de los frutos en la zona.*

Abstract

*The enviroment of the Orihuela (Alicante) area has influence on citrus growing in general and oranges in particular. So as CV. Salustiana orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) is a variety that permit early and late picking, there is interesting for these oran-*

ges in Segura river bassing tipical deficit area. For these reasons as it has influence this circunstance in the evolution of rind growth, carpels, central axle and fruit volume, it will be necessary to know as basement of future studies in order to inprove quality of this fruits in this area.

Introducción

La finalidad de este estudio es conocer la evolución del volumen del fruto, de la corteza, de los carpelos y del eje central de los mismos, con relación al riego suministrado, al objeto de llegar a correlacionar en el futuro estos crecimientos con el origen de las posibles fisiopatías de los mismos [2], [5] y [6]. Entre ellas: la caída de la flor y la caída de los frutos, el efecto beneficioso de una recolección precoz, el efecto inhibitorio del cuajado en una floración normal en presencia de una floración extemporánea precoz [4], el splitting, el buffing [1], etc. De modo que con el fin mejorar y regularizar el cultivo de esta interesante variedad, es por lo que se realiza este estudio.

Material y métodos

El material con el que se ha realizado el estudio son naranjas salustianas de árboles de doce años sobre patrón naranjo amargo (*Citrus aurantium* L.) con un marco de plantación de 6 x 4 m en una finca sita en el paraje de La Matanza, en el área de Orihuela (Alicante).

El suelo es franco, de pH básico y capacidad de cambio media, presentando los árboles un buen aspecto y con buen cultivo, ya que no presentaban problemas visibles de nutrición o de enfermedades. Siendo la estructura de los árboles el vaso típico de la zona.

La dotación de agua aplicada en dicho cultivo es de 5.862.9 m³, realizándose el riego por goteo, con aguas procedentes de la mezcla de aguas del trasvase Tajo-Segura (CEw 1.700 mmhos). El número de goteros por árbol es de 3 y el caudal de los goteros es de 4 litros por hora.

Las cantidades aplicadas han sido:

El material fotográfico utilizado durante las primeras semanas (de la 1ª a la 8ª semana) ha sido:

- ® Cámara réflex de 35 mm Olympus C35.
- ® Lupa binocular Olympus SZ60, acoplada a la cámara.
- ® Focos de luz direccionales Olympus PM-10 M.
- ® Película en color Kodak Gold Ultra 400.

El material utilizado a partir de las siguientes semanas (de la 8ª hasta la recolección de la fruta) ha sido:

- ® Cámara Minolta Dynax 600si Classic, réflex de 35 mm.
- ® Plataforma fotográfica con iluminación, Kaiser Fototechnick RB5000.
- ® Película en color Kodak Gold Ultra 400 y Kodak Gold 200.

Con respecto a la metodología seguida ésta fue la siguiente:

Primero se realizó la elección de las líneas de árboles, de tal forma que se buscó una zona homogénea,

| | Enero | Feb. | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | TOTAL |
|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Horas | | | | | | | | | | | | | |
| por día | 1 | 1.30 | 2.3 | 3 | 4.5 | 5 | 7.5 | 5 | 4.5 | 3 | 1.3 | 1 | |
| Metros | | | | | | | | | | | | | |
| cúbicos | 148.8 | 193.44 | 342.24 | 446.4 | 669.6 | 744 | 1116 | 744 | 669.6 | 446.4 | 193.44 | 148.8 | 5862.9 |

La dotación de riego fue sido calculada en función de la ETo y lluvia media obtenidas en mm en la estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela-Desamparados (Alicante).

con árboles de porte uniforme y sin síntomas de deficiencias ni daños. Para seleccionar los más representativos de la finca se seleccionaron diferentes árboles de la misma fila, situados preferentemente en el centro de

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ag. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eto | 37.44 | 49.7 | 70.34 | 110.16 | 129.8 | 175.35 | 201.7 | 187.85 | 107.6 | 84.55 | 49.41 | 39.16 | 1243 |
| P | 30.67 | 29.04 | 33.68 | 21.96 | 21.75 | 23.52 | 2.54 | 4.53 | 46.88 | 23.07 | 19.39 | 21.9 | 278.9 |

Fuente: Estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela.

Con los datos correspondientes al riego acumulado, se ha calculado la curva del agua suministrada al cultivo, así como también la ecuación y el coeficiente de correlación de la misma.

la plantación, con el fin de evitar el efecto borde. El total de árboles seleccionados fue de doce y la selección de los mismos se hizo en febrero.

Una vez seleccionados los árboles se procedió a

seleccionar los futuros frutos. Para ello y con el fin de conseguir que las muestras fuesen lo más homogéneas posible se procedió a marcar mediante etiquetas, un total de 48 brotes con flores en tres niveles y en las cuatro orientaciones. Dividiéndose la copa en los tres niveles siguientes: Un nivel bajo, un nivel medio y un nivel alto. De modo que en cada árbol se tomaron cuatro brotes con sus frutos, uno en cada orientación, es decir, en los cuatro primeros árboles del primer nivel se tomaron cuatro frutos de cada uno. Del mismo modo en el segundo nivel se tomaron cuatro frutos en cada uno de los cuatro árboles y en el tercer nivel otros cuatro frutos en cada uno de los mismos.

Se ha intentado obtener una representación homogénea y representativa del crecimiento del fruto en el árbol, por lo que la selección del fruto en el árbol se llevó a cabo tras la antesis, al finalizar la caída de pétalos, escogiendo los frutitos de color verde intenso y de forma ovalada, ya que estos tienen más posibilidades de superar las caídas de frutos.

Periódicamente (una vez por semana) durante el periodo comprendido entre el cuajado y la maduración (desde mediados de marzo hasta primeros de diciembre), se realizaron las operaciones de recogida y medición de los frutos, cálculo de las medias, recogida de las muestras y fotografía de las mismas en el laboratorio. Una vez conocida la media de cada orientación se tomaban de los árboles vecinos cuatro frutos de cada orientación y de dimensiones similares a la media aritmética realizada en las cuatro orientaciones medidas.

Estos frutos se llevaban al laboratorio y se seccionaban ecuatorialmente, se colocaban encima de un papel milimetrado, junto con una etiqueta de la medida, y rápidamente (4 ó 5 segundos) se fotografiaban. Con este método evitamos la oxidación de los frutitos en los primeros estadios (que provoca un cambio de color) y teníamos una referencia clara de la escala de la foto. Posteriormente y mediante reglas de tres, conocidos el diámetro real y el de la fotografía, se transformaban las medidas de todos los parámetros a tamaño real.

Al finalizar la recolección de los frutos teníamos fotografiada la evolución de la fenología interna de los frutos desde la antesis hasta la recolección. Por lo que en las fotografías pudimos medir el espesor de la corteza, el eje central y los carpelos. Además, teniendo el diámetro ecuatorial y siguiendo los trabajos de Chalmers et al., [3] también pudimos calcular fácilmente el volumen del fruto.

Resultados

El resultado de las mediciones realizadas a lo largo del periodo de desarrollo del fruto hasta la recolección con sus fechas, el volumen de cada uno de ellos y las medias de todos los frutos en cada semana, se indican en la Tabla 1.

Asimismo, se aportan las curvas, ecuaciones y coeficientes de correlación de la evolución en el tiempo del volumen del fruto (figura 1), de la corteza (figura 2), de los carpelos (figura 3) y del eje central (figura 4).

Discusión

A la vista de los resultados, expresados en forma gráfica, podemos apreciar la evolución del fruto durante todo el periodo de crecimiento, de tal forma que:

- a) El momento exacto de la caída junio, que tuvo lugar entre las semanas 11 y 13.
- b) Los frutos no presentan ninguna alteración de splitting ni creasing, a pesar de haber sido recolectados en la semana 38.
- c) Se observa en la curva del volumen la sigmoide típica de una recolección temprana.
- d) En la curva de la corteza se observa un estiramiento espectacular de la misma a partir de las semanas 13 del final de la caída de los pétalos hasta la recolección, observándose al final de la misma, algún síntoma de “bufado”.
- e) En el crecimiento de los carpelos, éstos empiezan a crecer significativamente a partir de las semanas 13-14 (final de la caída de junio).

f) La estrella o eje central del fruto empieza a estabilizar su crecimiento a partir de la semana 13-14, observándose al final, 6-7 semanas antes de la recolección, la apertura típica de los frutos en la fase de madurez.

g) Finalmente se puede observar en la gráfica relativa del CVR Salustiana, que el diámetro de la estrella viene a ser de la tercera parte de los carpelos del fruto. Que el espesor de las dos cortezas del fruto viene a ser algo menor de la tercera parte del total de los carpelos del fruto y que los carpelos son aproximadamente en el estudio de un 67% del diámetro del mismo.

h) De la semana 31 a la 34 han comenzado los cambios progresivos de color del fruto, tanto interna como externamente.

Conclusión

Por lo que en conclusión, el estudio de la evolución del volumen, corteza, carpelos y eje central, respecto al agua aplicada, nos permite acotar las épocas de crecimiento de los mismos durante el periodo de cultivo. Con lo que nos puede ser de gran ayuda para mejorar el cultivo y vislumbrar el origen de las posibles fisiopatías de una manera más cercana a la realidad.

Bibliografía

- 1) AGUSTÍ, M. y ALMELA, V. 1991. Aplicación de fitoreguladores en citricultura. Aedos Editorial S.A. Barcelona. 269 pp.
- 2) ALMELA, V.; AGUSTÍ, M. y GUARDIOLA, J.L. 1983. Fructificación y características del fruto en el mandarino Satsuma. Actas I Cong. Nac. S.E.C.H., 2: 681-688.
- 3) CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D. and JERIE, P.H. 1982. The physiology of growth control of peach and pear trees visiting recorded irrigation. Acta Horticulturae nº 78: 75-90.
- 4) GOLDWIN, G.K. 1986. Use of hormone setting sprays with monoculture orchards to give more regular cropping. Acta Horticultura 179: 343-348.
- 5) GUARDIOLA, J.L. *et al.*, 1982. Citado por AGUSTÍ, M. y ALMELA, V. 1991. En: Aplicación de fitoreguladores en citricultura. Aedos Editorial S.A. Barcelona. 269 pp.
- 6) WILLIAMS, R.R.; ARNOLD, G.M.; FLOOK, V.A. and JEFFERIES, C.I. 1980. The effect of picking date of blossoming and fruit set in the following year for the apple CVR Branley's seedling. Journal of Horticultural Science. 55: 359-362.

Tabla 1
CV. Salustiana

| Semana | fecha | Diámetro(cm) | Estrella (cm) | Carpelo(cm) | corteza(cm) | volumen(cc) |
|--------|-----------|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 22-mar-99 | 0,417 | 0,120 | 0,066 | 0,107 | 0,038 |
| 2 | 29-mar-99 | 0,450 | 0,122 | 0,087 | 0,101 | 0,048 |
| 3 | 5-abr-99 | 0,492 | 0,123 | 0,081 | 0,128 | 0,062 |
| 4 | 12-abr-99 | 0,557 | 0,148 | 0,100 | 0,129 | 0,090 |
| 5 | 19-abr-99 | 0,612 | 0,147 | 0,092 | 0,163 | 0,120 |
| 6 | 26-abr-99 | 0,662 | 0,167 | 0,105 | 0,167 | 0,152 |
| 7 | 3-may-99 | 0,787 | 0,166 | 0,119 | 0,215 | 0,255 |
| 8 | 10-may-99 | 0,787 | 0,241 | 0,113 | 0,328 | 0,255 |
| 9 | 17-may-99 | 0,975 | 0,227 | 0,100 | 0,400 | 0,485 |
| 10 | 24-may-99 | 1,322 | 0,187 | 0,164 | 0,520 | 1,210 |
| 11 | 31-may-99 | 1,882 | 0,300 | 0,192 | 0,623 | 3,490 |
| 12 | 7-jun-99 | 2,262 | 0,342 | 0,260 | 0,724 | 6,060 |
| 13 | 14-jun-99 | 2,842 | 0,365 | 0,476 | 0,786 | 12,019 |
| 14 | 21-jun-99 | 3,112 | 0,443 | 0,534 | 0,825 | 15,780 |
| 15 | 28-jun-99 | 3,412 | 0,401 | 0,776 | 0,754 | 20,798 |
| 16 | 5-jul-99 | 3,812 | 0,470 | 0,845 | 0,850 | 29,004 |
| 17 | 12-jul-99 | 4,116 | 0,502 | 1,087 | 0,847 | 36,511 |
| 18 | 19-jul-99 | 4,362 | 0,496 | 1,245 | 0,820 | 43,457 |
| 19 | 26-jul-99 | 4,542 | 0,502 | 1,252 | 0,792 | 49,061 |
| 20 | 2-ago-99 | 4,812 | 0,449 | 1,482 | 0,815 | 58,341 |
| 21 | 9-ago-99 | 4,812 | 0,414 | 1,456 | 0,767 | 58,341 |
| 22 | 16-ago-99 | 5,092 | 0,422 | 1,567 | 0,793 | 69,130 |
| 23 | 23-ago-99 | 5,062 | 0,411 | 1,742 | 0,788 | 67,915 |
| 24 | 30-ago-99 | 5,312 | 0,454 | 1,769 | 0,734 | 78,482 |
| 25 | 6-sep-99 | 5,312 | 0,525 | 1,814 | 0,604 | 78,482 |
| 26 | 13-sep-99 | 5,301 | 0,502 | 1,848 | 0,576 | 77,996 |
| 27 | 20-sep-99 | 5,472 | 0,501 | 1,927 | 0,584 | 85,790 |
| 28 | 27-sep-99 | 5,412 | 0,437 | 2,192 | 0,532 | 82,999 |
| 29 | 4-oct-99 | 5,932 | 0,504 | 2,437 | 0,447 | 109,295 |
| 30 | 11-oct-99 | 6,212 | 0,509 | 2,527 | 0,447 | 125,514 |
| 31 | 18-oct-99 | 6,562 | 0,577 | 2,687 | 0,407 | 147,947 |
| 32 | 25-oct-99 | 6,892 | 0,712 | 2,702 | 0,412 | 171,409 |
| 33 | 1-nov-99 | 7,072 | 0,812 | 2,642 | 0,412 | 185,193 |
| 34 | 8-nov-99 | 7,152 | 0,912 | 2,652 | 0,392 | 191,550 |
| 35 | 15-nov-99 | 7,522 | 0,962 | 2,862 | 0,442 | 222,843 |
| 36 | 22-nov-99 | 7,822 | 1,162 | 2,962 | 0,392 | 250,583 |
| 37 | 29-nov-99 | 7,852 | 1,112 | 2,982 | 0,412 | 253,478 |
| 38 | 6-dic-99 | 8,112 | 1,312 | 3,012 | 0,453 | 279,500 |

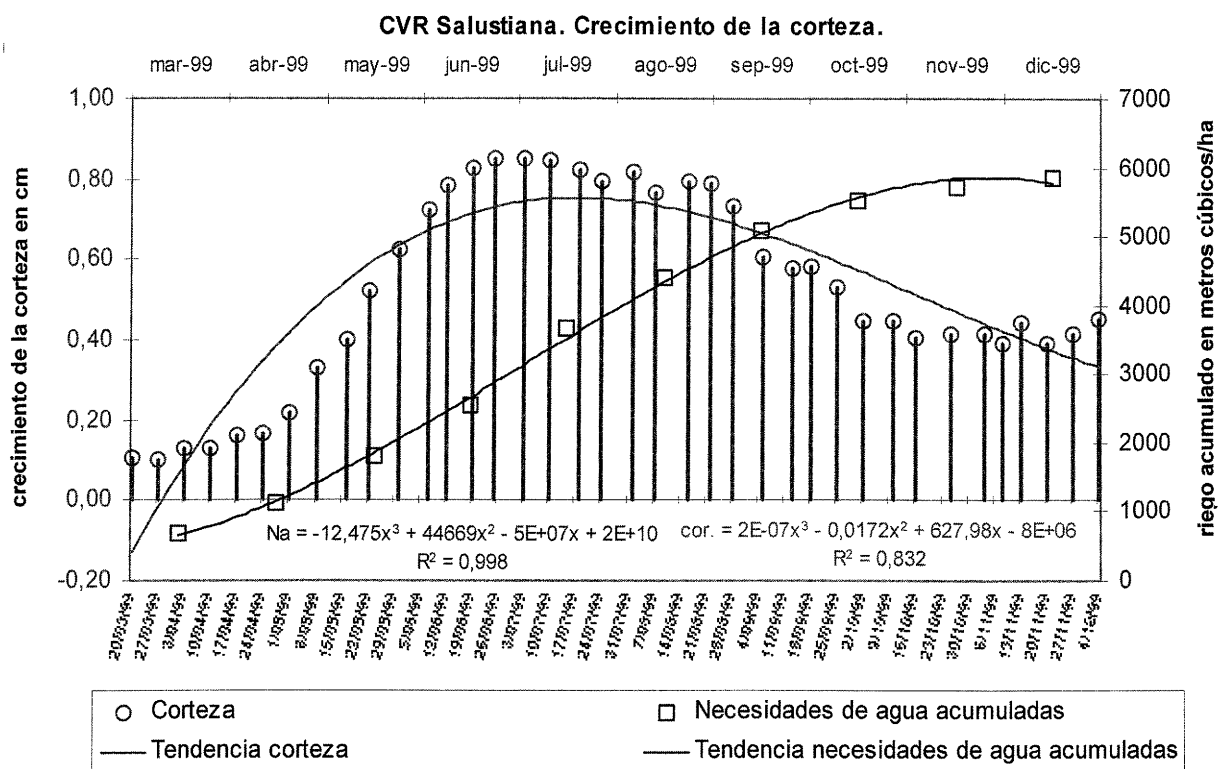


FIGURA 1: Curva, ecuación y coeficiente de correlación de la evolución en el tiempo del volumen del fruto.

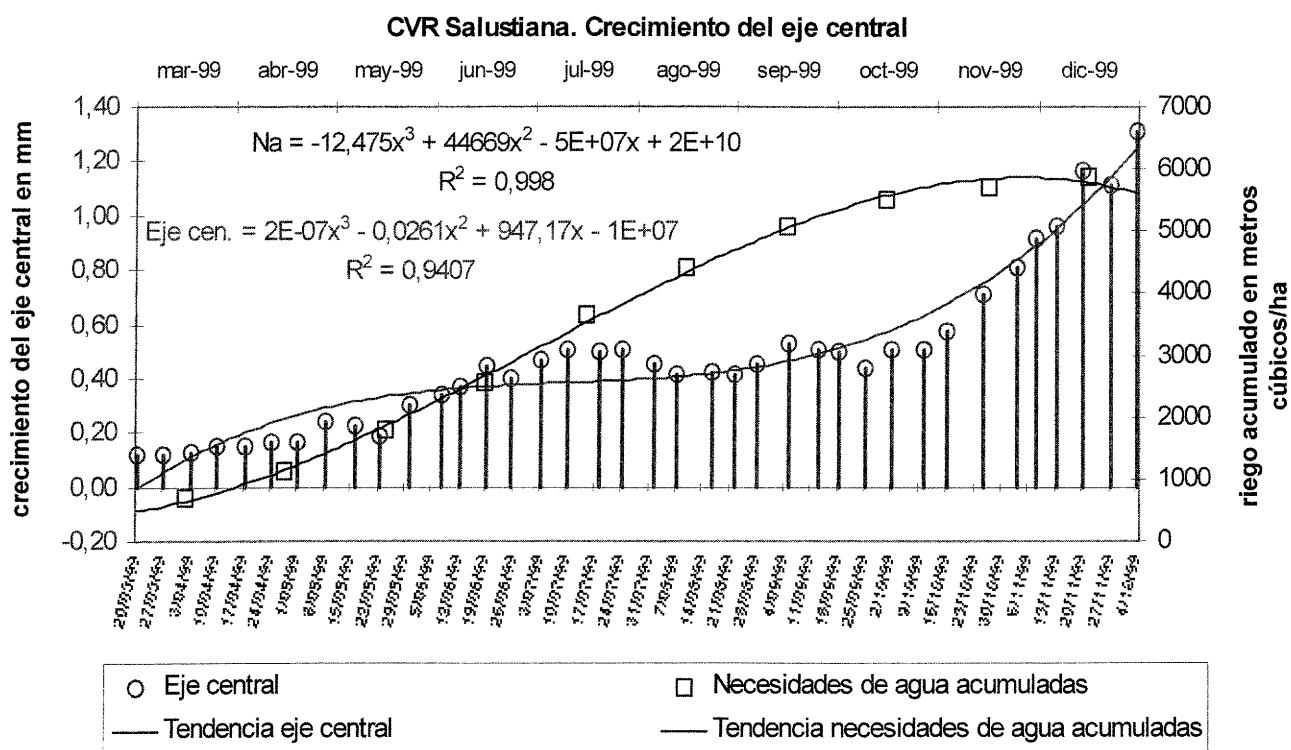


FIGURA 2: Curva, ecuación y coeficiente de correlación de la evolución en el tiempo de los carpelos del fruto.

Contribución al estudio de la evolución de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de los frutos del mandarino cv. Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) con respecto al riego suministrado

■ **R. Martínez Valero; R. Martínez Font; H. Gimeno; J. Martínez Tomé**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Resumen

El objetivo de este estudio es contribuir a conocer la evolución de las curvas de crecimiento de la corteza, de los carpelos, del eje central y del volumen de los frutos del mandarino CV. Satsuma (Citrus unshiu Marc.), con relación al riego normalmente aplicado en la zona de Orihuela (Alicante). Así pues para ello se han realizado mediciones semanales de la corteza, de los carpelos y del eje central, siendo el resultado de los mismos la aportación de las tablas obtenidas, y las ecuaciones del crecimiento de cada uno de ellos.

Abstract

The objective of this study is to know the evolution of growth curve of rind, carpels, central axle and volume of fruits of CV. Satsuma mandarins (Citrus unshiu Marc.), with relationship to normal irrigation in the area of Orihuela (Alicante). The target of this work is open for news studys and for this reason we realised every week mesures of the rinds, carpels and central axle. And the outcome of this study are the table data

of mesures in the time and the growth ecuations of the each one of them.

Introducción

El conocimiento de la evolución del crecimiento de las diferentes partes del fruto es fundamental para poder profundizar en el estudio de las diferentes fisiopatías, y por ello es necesario estudiar por separado el crecimiento de los diferentes componentes del fruto, es decir, corteza, carpelos y eje central o estrella, así como el volumen.

Teniendo en cuenta el desarrollo integral del fruto, Coombe [3] afirma que el crecimiento depende del número de células obtenidas en la méresis, siendo el potencial de su evolución relacionado con la acumulación de asimilados. Por tanto el volumen final del fruto vendrá dado por el tamaño y número de las células que lo integran, así como de la acumulación de agua y solutos (particularmente azúcares y ácidos en las vacuolas) en la auxéresis [5]. Además el tamaño del fruto vendrá influido asimismo por el número de células conseguidas por los esbozos florales antes de la

antesis, por lo que las diferenciaciones florales precoces serán favorables al mismo. De modo que el aumento proporcional de la biomasa final en el fruto, se debe además no solo al incremento del número de células en el ovario en respuesta al aclareo de flores, sino al aumento del citoplasma de las células como del llenado de las vacuolas de las mismas. Por lo que, para la determinación del tamaño final del fruto es necesario tanto el favorecer la división celular antes de la antesis, como el crecimiento y la distensión celular después de ésta. Sin embargo hay que tener en cuenta, que las altas temperaturas o las condiciones de estrés hídrico, pueden reducir el número de células tanto de los esbozos florales como del fruto [2]. En consecuencia cuando la división celular ha finalizado, la distensión celular o auxéresis está probablemente determinada, por el mecanismo que controla la extensión de la pared celular y la acumulación de agua y solutos.

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | TOTAL |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Horas | | | | | | | | | | | | | |
| por día | 0.5 | 1.5 | 2 | 2.3 | 3.3 | 4.26 | 6.25 | 4.29 | 3.26 | 2 | 1.5 | 0.5 | |
| Metros | | | | | | | | | | | | | |
| cúbicos | 103.8 | 311.7 | 415.1 | 462 | 684.9 | 884.2 | 1297.3 | 890.4 | 676.7 | 415.1 | 311.7 | 103.8 | 6556.7 |

Bain [1] divide el desarrollo del crecimiento de los frutos en tres etapas, que son de tipo sigmoidal [3] y que según indican Sinott [8] y Richards [6], que la primera etapa es de tipo logarítmico típica de la méresis, la segunda etapa es de tipo lineal típica de la auxéresis y la tercera etapa es de tipo hiperbólico típica de la

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ag. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eto | 37.44 | 49.7 | 70.34 | 110.16 | 129.8 | 175.35 | 201.7 | 187.85 | 107.6 | 84.55 | 49.41 | 39.16 | 1243 |
| P | 30.67 | 29.04 | 33.68 | 21.96 | 21.75 | 23.52 | 2.54 | 4.53 | 46.88 | 23.07 | 19.39 | 21.9 | 278.9 |

Fuente: Estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela.

senescencia. Como la división celular varía entre tejidos del mismo fruto y la extensión celular se incrementa en el grado de ploidía, las curvas que vamos a estudiar nos podrán indicar el grado de importancia de estas variaciones, con el fin de estudiar ciertas fisiopa-

tías y la posible incidencia de algunos nutrientes en el origen de las mismas.

Material y métodos

El material con el que se ha realizado el estudio son frutos de Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) de árboles de ocho años sobre patrón mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) con un marco de plantación de 3,20 m x 2,80 m, en una finca ubicada en el termino municipal de Orihuela (Alicante).

El suelo tiene una capacidad de cambio media y un pH básico, siendo su estructura franca. Los árboles presentan un aspecto fitosanitario correcto y las prácticas culturales son las típicas de la zona, por lo que no presentan problemas visibles de nutrición o de enfermedades. La estructura de los árboles es el vaso típico de la zona.

La dotación de agua aplicada en dicho cultivo es de 6.556,7 m³, realizándose el riego por goteo, con dos goteros de 3 l/h por planta, regándose con aguas procedentes de la mezcla de aguas del trasvase Tajo-Segura (CEw 1.700 mmhos).

El riego aplicado ha sido:

Para realizar el cálculo de la dotación de riego se han utilizado los valores de la ETo y lluvia media obtenidas en mm en la estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela-Desamparados (Alicante).

Con los datos correspondientes a las necesidades de riego acumulado, se ha calculado la curva, así como también la ecuación y el coeficiente de correlación de la misma.

El material fotográfico utilizado durante las primeras semanas (hasta la 8ª semana) fue una Cámara réflex de 35 mm Olympus C35 y una lupa binocular Olympus SZ60, acoplada a la cámara, además de focos de luz direccionales Olympus PM-10 M.

El material utilizado a partir de las siguientes semanas (hasta la recolección del fruto) fue una Cámara Minolta Dynax 600si Classic, réflex de 35 mm acoplada a una plataforma fotográfica con iluminación, Kaiser Fototechnick RB5000.

La elección de los árboles se realizó en febrero. Para la elección de las líneas de árboles se buscó una zona homogénea dentro de la finca, de tal forma que los árboles seleccionados presentasen un porte uniforme y no tuvieran síntomas de deficiencias ni daños. Por ello, se escogieron árboles del centro de la plantación, con el fin de evitar el efecto borde. El número total de árboles seleccionados fue de doce.

Una vez realizada la selección de los árboles se procedió a seleccionar los futuros frutos. Para ello se procedió a marcar mediante etiquetas, un total de 48 brotes con flores en tres niveles y en las cuatro orientaciones, con el fin de conseguir que las muestras fuesen lo más homogéneas posible. Dividiéndose la copa en los tres niveles siguientes: Un nivel bajo, un nivel medio y un nivel alto. De modo que en cada árbol se tomaron cuatro brotes con sus frutos, uno en cada orientación, es decir, en los cuatro primeros árboles del primer nivel se tomaron cuatro frutos de cada uno. Del mismo modo en el segundo nivel se tomaron cuatro frutos en cada uno de los cuatro árboles y en el tercer nivel otros cuatro frutos en cada uno de los mismos.

Al realizar la selección de cada fruto tras la antesis, se ha intentado obtener una representación homogénea y representativa del crecimiento del fruto en el árbol. Así dicha selección se realizó al finalizar la caída de pétalos, escogiendo los frutitos de color verde intenso

y de forma ovalada, ya que estos tienen más posibilidades de superar las caídas de frutos.

Durante el periodo comprendido entre el cuajado y la maduración (desde mediados de marzo hasta primeros de diciembre), se realizaron semanalmente las operaciones de recogida y medición de los frutos, cálculo de las medias, recogida de las muestras y fotografía de las mismas en el laboratorio. Una vez conocida la media de cada orientación se tomaban de los árboles vecinos cuatro frutos (uno por cada orientación) y de dimensiones similares a la media aritmética realizada en las cuatro orientaciones medidas.

Los frutos recolectados se seccionaban ecuatorialmente, se colocaban encima de un papel milimetrado, junto con una etiqueta de la medida, y rápidamente (4 ó 5 segundos) se fotografiaban. De esta forma evitamos la oxidación de los frutitos en los primeros estadios (que provoca un cambio de color) y tenemos una referencia clara de la escala de la foto. Posteriormente calculábamos mediante reglas de tres, conocidos el diámetro real y el de la fotografía, las medidas reales de todos los parámetros.

Una vez finalizada la recolección de los frutos, teníamos fotografiada la evolución de la fenología interna de los frutos desde la antesis hasta la recolección. De tal forma que en las fotografías podíamos medir el espesor de la corteza, el eje central y los carpelos. Además, teniendo el diámetro ecuatorial y siguiendo los trabajos de Chalmers *et al.*, [4] podemos calcular fácilmente el volumen del fruto.

Resultados

El resultado de las mediciones realizadas a lo largo del periodo de desarrollo del fruto hasta la recolección con sus fechas, el volumen de cada uno de ellos y las medias con sus desviaciones típicas de todos los frutos en cada semana, se indican en la Tabla 1.

Asimismo, la curva de la evolución del volumen del fruto, de la corteza, de los carpelos y del eje central, así como sus ecuaciones y los coeficientes de

correlación vienen representados en las figuras 1, 2 y 3 respectivamente.

Discusión

Con los resultados expresados en forma gráfica, y a la vista de los mismos, podemos apreciar la evolución de cada parámetro y hacernos una idea clara de la evolución del fruto durante todo el periodo de crecimiento.

Así pues se aprecia gráficamente:

- Que el momento exacto de la caída de junio, que tuvo lugar entre las semanas 5 y 9.

Que con el riego aplicado:

- Los frutos no presentan alteraciones por senescencia en la corteza debido a que éstos son recolectados precozmente para su rápida comercialización.

- Que el eje central estabiliza su crecimiento a partir de las semanas 9 y 10, continuando así hasta el momento de la recolección del fruto.

- Que los carpelos empiezan a desarrollarse significativamente a partir de las semanas 10 y 11, es decir, al finalizar la “porgà” o caída de junio.

- Que con las cantidades dadas de riego la Satsuma que es una variedad que se recolecta prácticamente en el mes de septiembre, podemos apreciar en la curva del volumen el sigmoide típico de una recolección precoz.

Conclusión

A la luz de todo lo anteriormente indicado se deduce que la evolución del volumen, de la corteza, de los carpelos y del eje central de los frutos, con respecto al agua aplicada, nos permite conocer el comportamiento de la planta durante el periodo de cultivo. Por lo que en consecuencia el estudio expuesto podría servir de base en el conocimiento del origen de posibles fisiopatías con el fin de mejorar el cultivo del mandarino Satsuma en la cuenca del Segura.

Bibliografía

- 1) BAIN, J.M. 1958. Morphological, anatomical and physiological changes in the developing fruit of Valencia orange, (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Aust. J. Bot., 6: 1-24.
- 2) BOHNER, J. and BANGERTH, F. 1988. Cell number, cell size and hormone level in semi-isogenic mutants of *Lycopersicon pimpinellifolium* differing in fruit size. *Physiologia Plantarum*. 72: 316-320.
- 3) COOMBE, B.G. 1976. Development of fleshy fruit. *Annual Review of Plant Physiology*. 27:207-228.
- 4) CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D. and JERIE, P.H. 1982. The physiology of growth control of peach and pear trees visiting recorded irrigation. *Acta Horticulturae* n° 78: 75-90.
- 5) HO, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugar in sink organs in relation to sink strength. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 39: 355-378.
- 6) RICHARDS, 1969. Citado por SALISBURY and ROSS, 1992. En: *Plant Physiology*. Wadsworth Publising Company. Belmont, California. 682 pp.
- 7) SALISBURY, F.B. and ROS, C.W. 1992. *Plant Physiology*. Wadsworth Publising Company. Belmont, California. 682 pp.
- 8) SINOTT, 1960. Citado por SALISBURY and ROSS, 1992. En: *Plant Physiology*. Wadsworth Publising Company. Belmont, California. 682 pp.

Tabla 1
CV. Satsuma 99

| Semana | Fecha | Diámetro (cm) | Estrella (cm) | Carpelo (cm) | corteza (cm) | volumen (cc) |
|--------|----------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 12/04/99 | 0,46 | 0,10 | 0,07 | 0,07 | 0,05 |
| 2 | 19/04/99 | 0,51 | 0,11 | 0,08 | 0,14 | 0,07 |
| 3 | 26/04/99 | 0,62 | 0,11 | 0,10 | 0,17 | 0,13 |
| 4 | 03/05/99 | 0,75 | 0,13 | 0,14 | 0,19 | 0,22 |
| 5 | 10/05/99 | 0,88 | 0,18 | 0,13 | 0,28 | 0,36 |
| 6 | 17/05/99 | 0,96 | 0,19 | 0,11 | 0,32 | 0,46 |
| 7 | 24/05/99 | 1,16 | 0,16 | 0,21 | 0,36 | 0,82 |
| 8 | 31/05/99 | 1,73 | 0,19 | 0,32 | 0,47 | 2,72 |
| 9 | 07/06/99 | 1,93 | 0,31 | 0,34 | 0,49 | 3,77 |
| 10 | 14/06/99 | 2,30 | 0,38 | 0,48 | 0,48 | 6,38 |
| 11 | 21/06/99 | 2,51 | 0,45 | 0,60 | 0,45 | 8,29 |
| 12 | 28/06/99 | 3,05 | 0,51 | 0,86 | 0,43 | 14,87 |
| 13 | 05/07/99 | 3,21 | 0,45 | 0,96 | 0,44 | 17,33 |
| 14 | 12/07/99 | 3,46 | 0,48 | 1,04 | 0,47 | 21,71 |
| 15 | 19/07/99 | 3,74 | 0,56 | 1,16 | 0,45 | 27,41 |
| 16 | 26/07/99 | 4,16 | 0,58 | 1,41 | 0,40 | 37,72 |
| 17 | 02/08/99 | 4,26 | 0,58 | 1,47 | 0,39 | 40,51 |
| 18 | 09/08/99 | 4,35 | 0,55 | 1,64 | 0,28 | 43,13 |
| 19 | 16/08/99 | 4,50 | 0,54 | 1,75 | 0,25 | 47,74 |
| 20 | 23/08/99 | 4,57 | 0,53 | 1,79 | 0,25 | 50,01 |
| 21 | 30/08/99 | 4,75 | 0,55 | 1,84 | 0,28 | 56,15 |
| 22 | 06/09/99 | 5,01 | 0,57 | 1,98 | 0,26 | 65,88 |
| 23 | 13/09/99 | 5,08 | 0,58 | 2,00 | 0,27 | 68,68 |
| 24 | 20/09/99 | 5,18 | 0,60 | 2,05 | 0,26 | 72,82 |
| 25 | 27/09/99 | 5,41 | 0,52 | 2,17 | 0,29 | 82,95 |

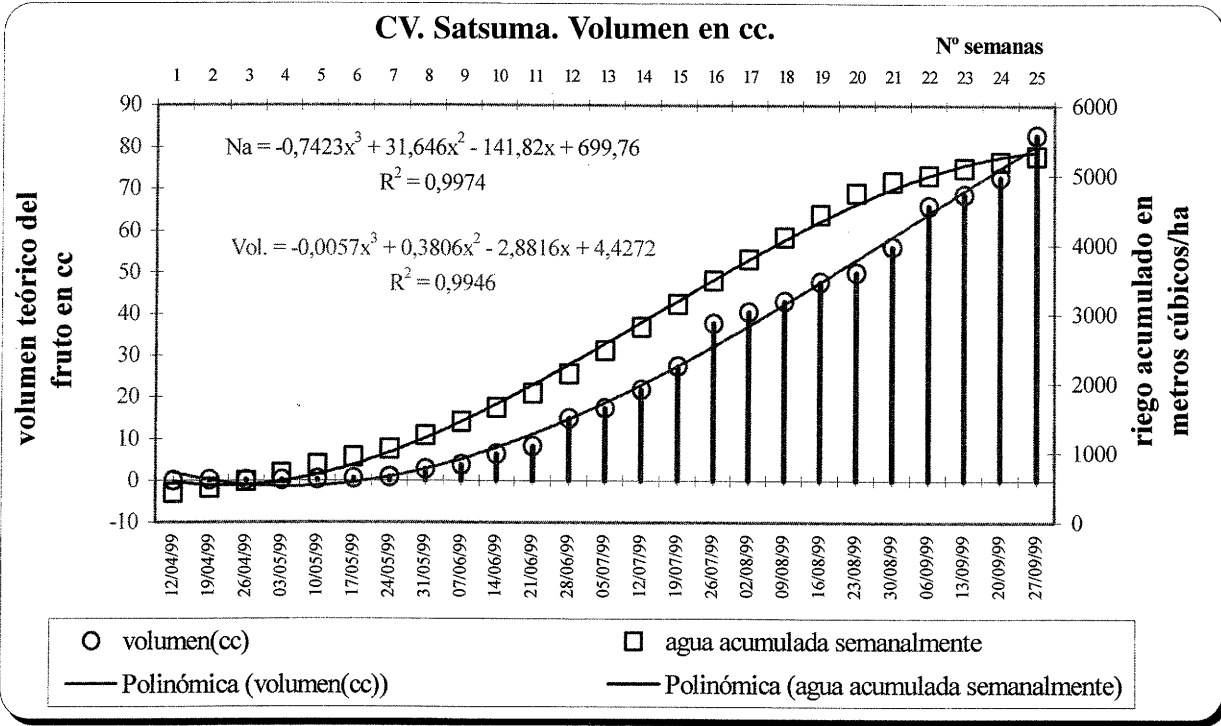


Figura 1. Curva, ecuación y coeficiente de correlación de la evolución en el tiempo del volumen del fruto.

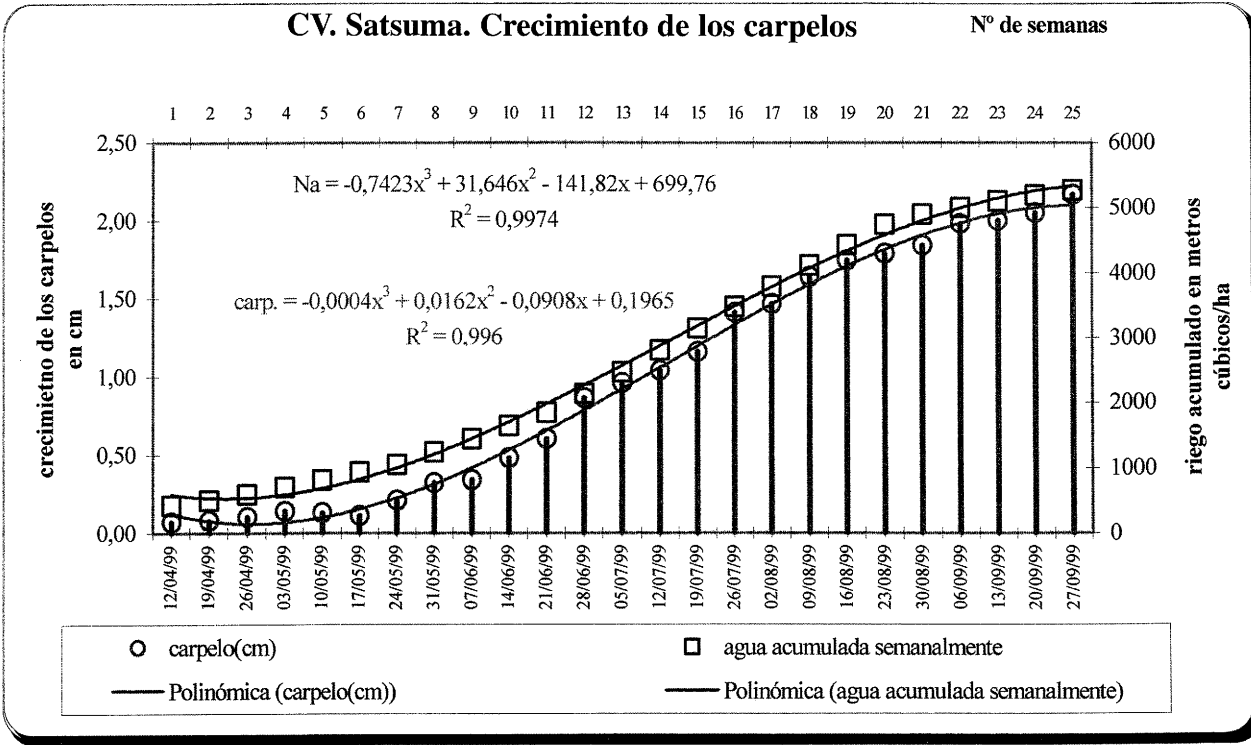


Figura 2. Curva, ecuación y coeficiente de correlación de la evolución en el tiempo de los carpelos del fruto.

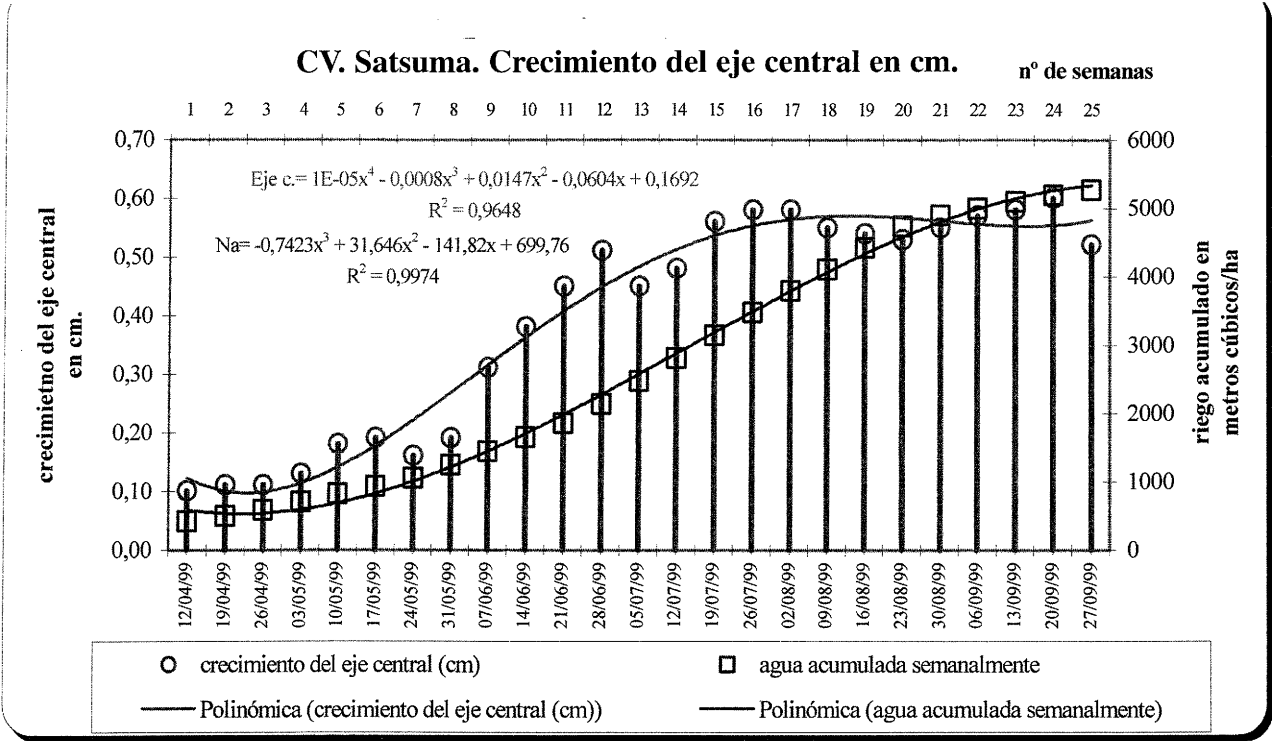


Figura 3. Curva, ecuación y coeficiente de correlación de la evolución en el tiempo del eje central del fruto.

Contribución al estudio de los estados fenológicos internos de los frutos del mandarino cv. Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) con relación al riego suministrado

▮ **R. Martínez Valero; R. Martínez Font; Fca. Hernández; J.J. Martínez Nicolás**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

Resumen

*Como se sabe el crecimiento del fruto es parte integrante del crecimiento de la planta, siendo la respuesta de ésta, el resultado de su adaptación ecológica. Del cual el riego en nuestra climatología del Sureste español es parte fundamental, que influye en la regulación de los procesos internos que interaccionan el crecimiento de los frutos con el resto de la planta. Que en el caso del mandarino cv. Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) en la zona de Orihuela (Alicante) y en las aluviones del río Segura, es determinante por la buena calidad de sus frutos y su excelente adaptación climática.*

Abstract

Fruit growth is one part of the plant and the response of this is the outcome of the environment adaptation. For this reason in this desertic area of south eastern of Spain, irrigation is very important because it permits internal regulation of fruit growth in the plant overall. In this study cv. Satsuma mandarin is planted

*(*Citrus unshiu* Marc.) in Orihuela (Alicante) on the soils of Segura basin, when irrigation is fundamental in order to get good quality of your fruits by excellent ecological behavior.*

Introducción

La ubicación de la planta en una ecología determinada va a condicionar la respuesta de la misma, siendo además el crecimiento del fruto parte integrante del crecimiento de ésta, es por lo que la planta influirá en la regulación de los procesos internos que interaccionan el crecimiento de los frutos con el resto de ella misma [7].

De modo que el conocimiento de los estados fenológicos internos en el mandarino cv. Satsuma (*Citrus unshiu* Marc.) será muy importante para la correcta aplicación de las técnicas de cultivo y en especial del engorde de los frutos mediante la aplicación reguladores del crecimiento, tan necesarios para conseguir calidad y calibre comercial en este cítrico.

Por lo que hace referencia al tamaño final del fruto, éste depende de su peso seco (que a su vez depende del

contenido de las células, del tamaño de las mismas y del número de ellas), de la cantidad de agua y de los solutos acumulados durante el período de crecimiento [5].

Además otros factores que también afectan al tamaño final del fruto son la posición y orientación de éste en el árbol, sus antecedentes genéticos, el número de sus células diferenciadas en la preantesis en el ovario [3], la tasa de crecimiento y la tasa de fotosíntesis, la dominancia en el crecimiento [4], la influencia del número de frutos en el árbol y del número de flores [6] y [2], la influencia de los factores ambientales y nutricionales [1] además de otros factores.

Sin embargo, parece que el reparto de asimilados entre los distintos órganos en el fruto está determinado por la fuerza de concurrencia entre los mismos, y esta

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ag. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Eto | 37.44 | 49.7 | 70.34 | 110.16 | 129.8 | 175.35 | 201.7 | 187.85 | 107.6 | 84.55 | 49.41 | 39.16 | 1243 |
| P | 30.67 | 29.04 | 33.68 | 21.96 | 21.75 | 23.52 | 2.54 | 4.53 | 46.88 | 23.07 | 19.39 | 21.9 | 278.9 |

Fuente: Estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela.

capacidad intrínseca dentro de cada órgano está relacionada con la capacidad de división celular que a su vez esta hormonalmente regulada [7].

| | Ene. | Feb. | Mar. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | TOTAL |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Horas de media | | | | | | | | | | | | | |
| por día | 0.5 | 1.5 | 2 | 2.4 | 3.3 | 4.4 | 7.2 | 6 | 3.3 | 2 | 1.5 | 0.5 | |
| Metros cúbicos | 103.8 | 311.7 | 415.1 | 497.1 | 684.9 | 888.6 | 1516 | 1257 | 676.7 | 415.1 | 311.7 | 103.8 | 7181.5 |

En consecuencia, este grado de competencia entre las distintas partes del fruto en desarrollo, podrá llegar a crear distintas prioridades entre las distintas partes del mismo, y estos cambios morfológicos en el tiempo son los que queremos fijar en forma de estados fenológicos del fruto desde el cuajado hasta la maduración.

Material y métodos

El estudio se ha realizado con frutos del cv. Satsu-

ma (*Citrus unshiu* Marc.), procedentes de árboles de ocho años sobre patrón mandarino Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) con un marco de plantación de 3,20 m x 2,80 m, en una finca ubicada en el termino municipal de Orihuela (Alicante).

La estructura del suelo es franca, con un pH básico y una capacidad de cambio media, presentando los árboles buen aspecto fitosanitario y con un cultivo correcto, ya que no se apreciaban problemas visibles de nutrición o de enfermedades. La estructura de los árboles es el vaso típico de la zona.

La dotación de agua aplicada en dicho cultivo es de 7.181,5 m³ aproximadamente, realizándose el riego por goteo, con dos goteros de 3 l/h por planta, regándose con aguas procedentes de la mezcla de aguas del trasvase Tajo-Segura (CEw 1700 mmhos).

La dotación de riego ha sido calculada en función de la ETo y lluvia media de la estación meteorológica de la E.P.S. Orihuela-Desamparados (Alicante).

El riego aplicado ha sido:

Con los datos obtenidos se ha calculado la curva, la ecuación y el coeficiente de correlación de la misma.
Para realizar las fotografías durante las primeras semanas (de la 1ª a la 8ª semana) se utilizó una cámara réflex de 35 mm Olympus C35, una lupa binocular Olympus SZ60, acoplada a la cámara y focos de luz direccionales Olympus PM-10 M.
A partir de la 8ª semana y hasta la recolección de

la fruta se utilizó una cámara Minolta Dynax 600si Classic, réflex de 35 mm y una plataforma fotográfica con iluminación, Kaiser Fototechnick RB5000.

Con respecto a la metodología seguida ésta fue la siguiente:

A finales de febrero se buscó una zona homogénea de la parcela con árboles de porte uniforme, evitando los bordes, y que no presentase síntomas de enfermedades, carencias o daños y se seleccionaron doce árboles. Éstos fueron los más representativos del conjunto y se encontraban en la misma línea.

Posteriormente se seleccionaron los frutos. Para ello y con el fin de conseguir que las muestras fuesen lo más homogéneas posible se procedió a marcar mediante etiquetas, un total de 48 brotes con flores en tres niveles y en las cuatro orientaciones. Dividiéndose la copa en los tres niveles siguientes: Un nivel bajo, un nivel medio y un nivel alto. De modo que en cada árbol se tomaron cuatro brotes con sus frutos, uno en cada orientación, es decir, en los cuatro primeros árboles del primer nivel se tomaron cuatro frutos de cada uno. Del mismo modo en el segundo nivel se tomaron cuatro frutos en cada uno de los cuatro árboles y en el tercer nivel otros cuatro frutos en cada uno de los mismos.

Se ha intentado obtener una representación homogénea y representativa del crecimiento del fruto en el árbol, por lo que la selección del fruto en el árbol se llevó a cabo tras la antesis, al finalizar la caída de pétalos, escogiendo los frutitos de color verde intenso y de forma ovalada, ya que estos tienen más posibilidades de superar las caídas de frutos.

Periódicamente (una vez por semana) durante el periodo comprendido entre el cuajado y la maduración (desde mediados de marzo hasta primeros de diciembre), se realizaron las operaciones de recogida y medición de los frutos, cálculo de las medias, recogida de las muestras y fotografía de las mismas en el laboratorio. Una vez conocida la media de cada orientación se tomaban de los árboles vecinos cuatro frutos (uno por cada orientación) y de dimensiones similares a la

media aritmética realizada en las cuatro orientaciones medidas.

Estos frutos se llevaban al laboratorio y se seccionaban ecuatorialmente, se colocaban encima de un papel milimetrado, junto con una etiqueta de la medida, y rápidamente (4 ó 5 segundos) se fotografiaban. Con este método evitamos la oxidación de los frutitos en los primeros estadios (que provoca un cambio de color) y tenemos una referencia clara de la escala de la foto.

Al finalizar la recolección de los frutos teníamos fotografiada la evolución de la fenología interna de los frutos desde la antesis hasta la recolección, por lo que se estudiaron los cambios más significativos y se dibujaron los estados tipo de la evolución del crecimiento del fruto a lo largo de todo el periodo de crecimiento, desde el 10 de abril al 17 de octubre, estableciéndose de este modo los estados fenológicos internos de este cv.

Resultados

Los resultados del seguimiento de los estados fenológicos internos del mandarino cv. Satsuma a lo largo del periodo de desarrollo han sido los siguientes:

1ª Semana. Fruto recién cuajado. Algunos de los carpelos se encuentran totalmente ocupados por los óvulos, mientras que otros han empezado a elongarse, apareciendo un pequeño espacio entre la pared de éstos y los óvulos. Estado A.

2ª Semana. Todos los carpelos se encuentran en claro desarrollo. El espacio pared de carpelo-óvulos ha aumentado y se puede observar en su interior las pequeños vesículas adheridas a la pared del carpelo. Estado A-2.

3ª Semana. Continúa la elongación de los carpelos y empieza a crecer la corteza de forma notable. Estado A-3.

4ª Semana. Ligero crecimiento de los carpelos de forma que la separación entre los óvulos y la pared de los carpelos sigue aumentando. La corteza continúa

presentando un crecimiento rápido. Las vesículas empiezan a desarrollarse aumentando ligeramente su tamaño. Estado A-4.

5ª Semana. El crecimiento de los carpelos se estabiliza, mientras que la corteza continúa creciendo a un ritmo muy rápido. Se observa un incremento del tamaño del eje central. Estado A-5.

6ª Semana. El crecimiento de los carpelos se detiene temporalmente y el del eje central se ralentiza. Continúa el rápido desarrollo de la corteza. Importante incremento de las vesículas que ocupan más de la mitad del carpelo. Estado A-6.

7ª Semana. Principio del final de la méresis (multiplicación celular). Los carpelos están casi totalmente llenos y elongándose. Estado A-7.

8ª Semana. Final de la méresis y caída de los primeros frutos [9]. Los carpelos se encuentran totalmente llenos. Las vesículas adquieren aspecto fusiforme. Estado A-8.

9ª Semana. Inicio claro de la auxéresis que coincide con la plena caída de junio [9]. Notable aumento del tamaño del eje central. Estado B.

10ª Semana. Fin de la caída de junio, auxéresis claramente iniciada con gran elongación carpelar. Estado B-2.

11ª Semana. Gran crecimiento del fruto debido al continuo llenado de las vesículas y a una enorme elongación carpelar. Las vesículas presentan un aspecto fibroso y, al cortar el fruto, se separan unas de otras. Se estabilizan el crecimiento de la corteza, mientras que el eje central sigue aumentando significativamente su tamaño. Estado B-3.

12ª Semana. El tamaño de los carpelos supera al de la corteza que ha empezado a disminuir de tamaño con un relación aproximada de dos a uno. Las vesículas siguen presentando un aspecto fibroso. Estado B-4.

13ª Semana. Se mantiene la relación de tamaño carpelo-tamaño corteza, dos a uno. Las bolsas de aceites esenciales de la corteza, que en las semanas anteriores tenían forma alargada, empiezan a tomar una forma más redondeada. Estado B-5.

14ª Semana. No se observan grandes variaciones con respecto al estado anterior. Estado B-6.

15ª Semana. El carpelo continúa creciendo, mientras que el espesor de corteza empieza a disminuir. La estrella estabiliza su crecimiento. Estado B-7.

16ª Semana. No se observan grandes variaciones con respecto al estado anterior. La relación longitud de carpelo/grosor de corteza es mayor de 3. Estado B-8.

17ª Semana. El aumento de tamaño de los carpelos con respecto a la corteza, se hace, cada vez más evidente. Estado B-9.

18ª Semana. Continúa el proceso de las semanas anteriores de crecimiento de los carpelos y estiramiento de la corteza. Esto último da lugar a que las bolsas de aceites esenciales pasen de tener formas más o menos redondeadas a formas achatadas. Estado B-10.

19ª Semana. Todos los componentes del fruto sólo presentan variaciones insignificantes de tamaño, a excepción de los carpelos que continúan teniendo un gran crecimiento. Estado B-11.

20ª Semana. No se observan grandes variaciones con respecto al estado anterior. Estado B-12.

21ª Semana. No se observan grandes variaciones con respecto a los estados anteriores. Estado B-13.

22ª Semana. Empieza a observarse un ligero tono anaranjado en la pulpa. Estado C.

23ª Semana. Se acentúa el tono anaranjado de la pulpa. Estado C-2.

24ª Semana. Se alcanza la madurez comercial. La corteza aún presenta una coloración homogénea con tonos amarillos-verdosos. Estado C-3.

25ª Semana. Pleno desarrollo carpelar y fin de la madurez comercial. La corteza presenta una coloración no homogénea con tono amarillo-verdosos. Estado C-4.

26ª Semana. Se alcanza la madurez fisiológica. Apertura de la estrella con cambio total del color de la corteza. Estado C-5.

Discusión y conclusión

El establecimiento de los estados tipo internos del desarrollo del fruto, nos va a permitir utilizarlos de forma conjunta como complemento de seguridad a la hora de fijar fechas para los tratamientos con reguladores del crecimiento, o bien como punto de referencia para cualquier otra técnica de cultivo (figura 1).

Asimismo esto es de vital importancia ya que el ciclo de desarrollo del fruto varía con arreglo a la integral térmica pudiendo comenzar unos días antes o después, dependiendo éste de muchos factores, entre ellos una recolección temprana o tardía afecta al inicio de la floración, y por tanto al ciclo del desarrollo del fruto (figura 2).

En conclusión y por todo lo anteriormente dicho, el conocimiento conjunto del calibre y del estado de desarrollo interno del fruto para las condiciones ecológicas de la comarca de la Vega Baja del Segura, nos va a permitir optimizar los tratamientos con reguladores de crecimiento, además de otras prácticas culturales, con el consiguiente aumento de cosecha y de calidad.

Bibliografía

- 1) AGUSTÍ, M. y ALMELA, V. 1991. Aplicación de fitorreguladores en citricultura. Aedos Editorial S.A. Barcelona. 269 pp.
- 2) ALMELA, V.; AGUSTÍ, M y GUARDIOLA, J.L. 1983. Fructificación y características del fruto en el mandarino Satsuma. Actas I Cong. Nac. S.E.C.H., 2:681-688.
- 3) BOHNER, J. and BANGERTH, F. 1988. Cell number, cell size and hormone level in semi-isogenic mutants of *Lycopersicon pimpinellifolium* differing in fruit size. *Physiology Plantarum*. 72: 316-320.
- 4) BUTTROSE, M.S. and SEDGLEY, M. 1978. Some effects of light intensity daylength and temperature in growth of fruiting and non-fruiting watermelon. *Annals of Botany*. 42: 599-608.
- 5) COOMBE, B.G. 1976. The development of fleshy fruit. *Annual Review of Plant Physiology*. 27: 207-228.
- 6) GUARDIOLA, J.L. et al., 1982. Citado por AGUSTÍ, M. y ALMELA, V. 1991. En: Aplicación de fitorreguladores en citricultura. Aedos Editorial S.A. Barcelona. 269 pp.
- 7) HO, L.C. 1979. Regulation of assimilate translocation between leaves and fruits in the tomato. *Annals of Botany*. 43:437-448.
- 8) HO, L.C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 39: 355-378.
- 9) SALISBURY, F.B. and ROS, C.W. 1992. *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing Company. Belmont, California. 682 pp.

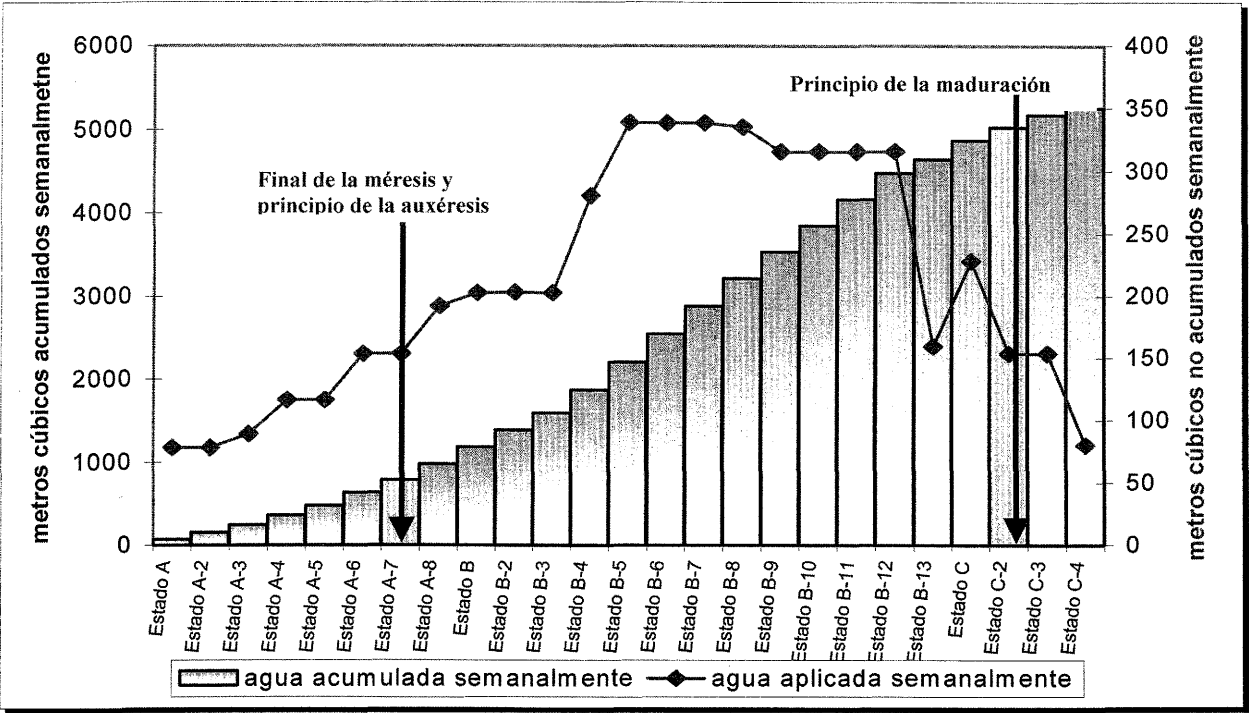


Figura 1. Estados fenológicos con respecto al agua suministrada, acumulada y no acumulada.

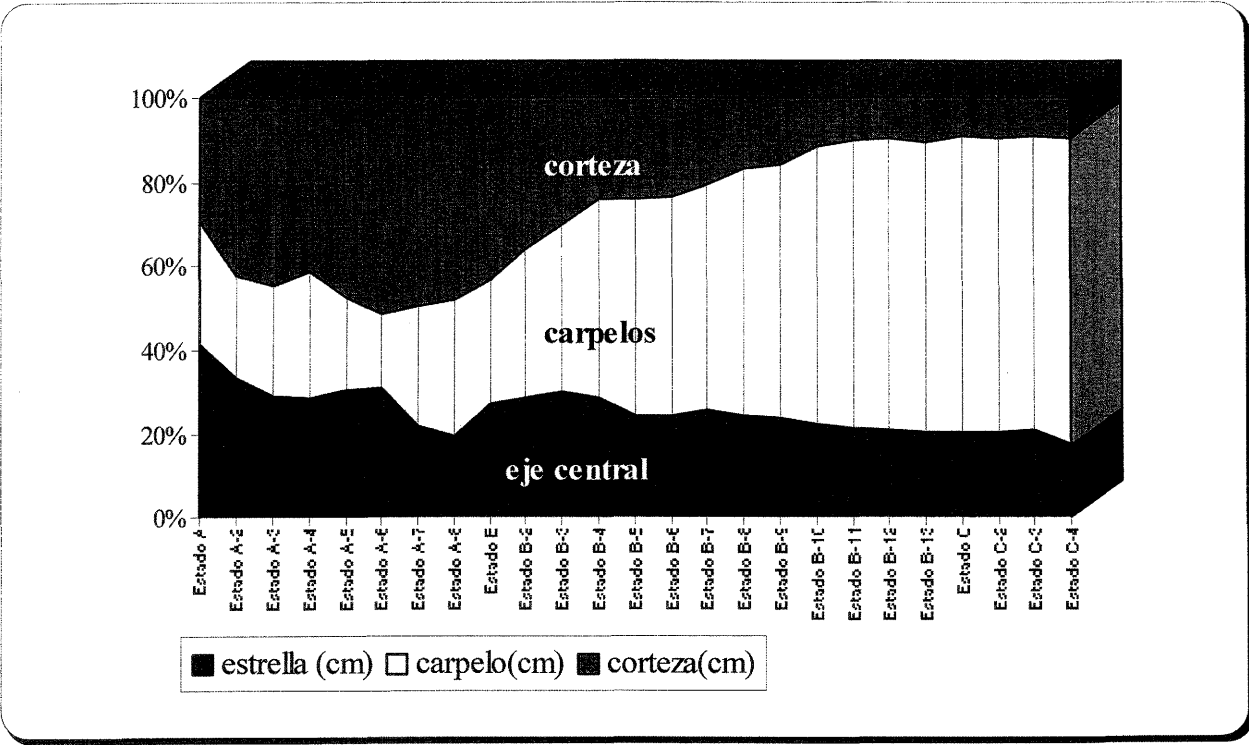


Figura 2. Gráfica porcentual del CVR Satsuma y estados fenológicos.

Consumo de agua en cultivo de tomate en dos sustratos diferentes.

Influencia del aporte de CO₂

► **Consuelo Egea; Ramón Madrid**

Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia

► **Antonio L. Alarcón**

Departamento de Producción Vegetal. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena

► **José A. Alburquerque**

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura CEBAS-CSIC

Resumen

En el sudeste español se está implantando, cada día con más fuerza, el cultivo sin suelo en invernadero. En la mayoría de los invernaderos el cultivo es a disolución perdida, es decir, el agua de drenaje se pierde. El avance de la tecnología está haciendo posible que estos drenajes se puedan recoger y volver a utilizar, para así conseguir un ahorro importante de agua y fertilizantes, y contribuir a su máximo aprovechamiento.

En ensayo se ha llevado a cabo en un invernadero multitúnel con paredes de policarbonato. El ambiente dentro del invernadero está totalmente controlado. Se han diferenciado tres sectores; en los dos primeros (1 y 2) se ha utilizado como sustrato arena y en el tercero lana de roca y en los sectores 1 y 3 se ha aportado CO₂. El marco de plantación es de 2 plantas/m².

El consumo de agua es superior en el sector 2 (202.6 l/planta) al final del cultivo para una producción de 7.76 kg/planta; en el sector 1 se produce un consumo ligeramente inferior (174.7 l/planta) con una producción algo mayor, 8.38 kg/planta y en el 3 el con-

sumo es muy inferior (127.5 l/planta), con una producción similar a la del sector 1, 7.69 kg/planta. Se han obtenido los correspondientes ajustes a curvas de tercer orden obteniendo coeficientes de correlación muy buenos para los tres sectores objeto de estudio.

Introducción

La utilización del cultivo hidropónico como alternativa al cultivo en suelo conduce a aumentar la producción por unidad de superficie, pero sobre todo, provoca un aumento en la calidad del fruto. Es necesario dotar al cultivo del agua necesaria para compensar las pérdidas por evapotranspiración (ET), dado que el estrés hídrico limita la producción más que cualquier otro factor ambiental (3).

En cultivo hidropónico la frecuencia y volumen de riegos debe adaptarse al sistema de cultivo, al tipo de sustrato usado (volumen y características físico-químicas), al estado fenológico de la planta y a las condiciones ambientales existentes en cada momento (7). Este tipo de cultivo permite mantener una nutrición hídrica y mineral ajustada a las necesidades de la

planta en cada momento de su desarrollo. Sin embargo, es necesario mantener un porcentaje de lixiviación (20-50% de la solución entrante) para evitar una excesiva concentración salina en el entorno radicular, que se traduciría en pérdidas de rendimientos en los cultivos (8; 1).

En el sudeste español la mayoría de los sistemas de cultivo hidropónico son a solución perdida. Los drenajes se dejan filtrar en el suelo perdiéndose así grandes cantidades de agua, hasta unos 2.000-3.000 m³/ha/año (4); es de vital importancia la recirculación de los mismos para aprovechar al máximo los recursos hídricos que son muy escasos en la zona en la que nos encontramos. En sistemas intensivos la sobredosis de fertilizantes es algo habitual, con lo que junto al agua también aportamos al suelo una gran cantidad de nutrientes que en muchos casos pueden resultar contaminantes. Al recircular los drenajes se frena en parte esta contaminación, a la vez que se ahorra considerablemente en fertilizantes.

El enriquecimiento en CO₂ en invernaderos es una práctica que se está empezando a utilizar en España debido a la disminución que se origina dentro de los mismos en los momentos de mayor actividad fisiológica de la planta. El enriquecimiento de CO₂ de la atmósfera de un invernadero produce un aumento de la actividad fotosintética de la planta, que por lo general se traduce en un aumento productivo (6; 5).

Material y métodos

El ensayo se ha llevado a cabo en una finca de la empresa Explotaciones Agrícolas Durán S.A.T. sita en Mazarrón (Murcia). Los invernaderos son de tipo multitúnel de 6 m de altura y paredes verticales de policarbonato de 4 mm de grosor y cubierta plástica de 800 galgas en tres capas. Dentro de los invernaderos se controla el clima mediante ventilación, calefacción, humidificación y pantalla térmica, en función de las lecturas de los sensores de radiación solar; también se controlan parámetros como velocidad del viento, tem-

peratura y humedad relativa. Los sustratos están provistos de calefacción.

Sector 1. El sustrato utilizado es arena silíceo. Presenta una superficie de 34.304 m², habiéndose delimitado una parcela experimental de 5.120 m². El marco de plantación es de 1 planta/m², pero en las plantas se han desarrollado dos tallos principales con lo que en total tendríamos 2 plantas/m². Los goteros tienen un caudal de 0.8 l/h situándose 2 goteros por planta. Se aplica CO₂ al ambiente mediante la quema de propano.

Sector 2. El sustrato utilizado es arena silíceo. Presenta una superficie de 31.840 m², habiéndose delimitado una parcela experimental de 5.120 m². Tanto el marco de plantación como el resto de condiciones son iguales que en el sector 1. La diferencia con el sector anterior estriba en que aquí no existe aplicación de CO₂.

Sector 3. El sustrato utilizado es lana de roca. Presenta una superficie de 13.760 m² con una parcela experimental de 5.783.5 m². El marco de plantación es de 2 plantas/m² con la misma disposición que en los otros sectores. El caudal de los goteros es de 1.9 l/h situándose una piqueta por planta (2 tallos principales, 0.8 l/h y por tallo).

Los drenajes están canalizados hacia fosas donde se recogen; los techos de los invernaderos están provistos de canales de recogida del agua de condensación interna (transpiración de las plantas) y externa (ambiente o lluvia) dentro y fuera de ellos respectivamente, y es dirigida hacia las fosas de recogida de drenajes, y a continuación hacia la balsa donde se produce la mezcla con el agua de riego, procedente de la desaladora.

El equipo automático de fertirrigación ajusta las disoluciones nutritivas programadas en función de los análisis de agua procedente de la balsa así como de los análisis de los drenajes de cada uno de los sectores.

Resultados

El cultivo ha tenido una duración de 250 días. Se

comenzó el ensayo con un régimen de 4 riegos de 8 minutos al día manteniéndose un alto régimen de drenaje, en torno al 80%. Cuando las raíces alcanzaron un volumen suficiente los riegos se controlan mediante una bandeja de riego por demanda; actúa controlando el riego mediante dos electrodos a diferente altura; el volumen de drenaje estará en función de la altura a la que se sitúen los electrodos.

En la gráfica se muestran los consumos acumulados de agua (l/planta) a lo largo del ciclo de cultivo para los sectores 3 ensayados. En los sectores 1 y 2 los consumos acumulados al final del cultivo son de 174.7 y 202.6 l/planta, para una producción de 8.38 y 7.76 kg/planta respectivamente. Atendiendo a los resultados obtenidos podemos decir que para el mismo sustrato (arena) cuando aplicamos CO₂ al tiempo que se disminuye el consumo de agua total de la planta se produce un aumento de la producción considerable (0.62 kg/planta). En el sector 3 el consumo total de agua hacia el final del cultivo asciende a 127.5 l/planta para una producción de 7.69 kg/planta, algo inferior a la del sector 1, pero esta disminución resulta rentable si la relacionamos con el ahorro de agua que se ha producido, 47.2 l/planta; este ahorro de agua no sólo es importante por sí mismo, sino por el simultáneo ahorro de fertilizantes.

Se han hecho los ajustes a curvas polinómicas de tercer grado (tabla 1), obteniendo coeficientes de correlación muy próximos a la unidad, coincidentes con ensayos anteriores de similares características (2; 4). Estas curvas facilitan una estimación del agua necesaria para llevar a cabo una plantación de similares características. En las ecuaciones obtenidas se ha suprimido el término independiente para conseguir pasar las curvas por el centro del eje de coordenadas, y partir, en definitiva, de consumo cero al inicio del cultivo.

Agradecimientos

Agradecemos a Explotaciones Agrícolas Durán

S.A.T. de Mazarrón (Murcia) su colaboración por la cesión de las parcelas y todas las facilidades prestadas para la realización de los ensayos objeto del presente artículo.

Bibliografía

1. Alarcón, A. L. 1996. El cultivo hidropónico de hortalizas tempranas. 4ª ponencia del I Fórum Internacional de Agricultura y Tecnología. FITECH'96. Valencia.
2. Alarcón, A. L.; Madrid, R.; Egea, C. y Brañas, F.J. 1998. Modelo de cultivo sin suelo con recirculado integral de lixiviados. *Actas de Horticultura*, 21: 209-216.
3. Boyer, J. S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443-448.
4. Egea, C.; Madrid, R.; Alarcón, A. L.; Conesa, J. J.; Brañas, F. J. 1999. Consumo de agua y producción en cultivo de tomate en dos sustratos diferentes con recirculado de lixiviados en cultivo sin suelo. *Actas de Horticultura*. 26: 65-70.
5. Franco, J. A.; Bañón, S.; González, A. y Fernández, J. A. La fertilización carbónica en horticultura. *Transferencia Tecnológica en Cultivos de Alto Rendimiento*. (En prensa).
6. Hand, D.; Slack, G.; Sweeney, D.G. 1981. Lettuce: crop responses to controlled levels of CO₂ enrichment. *Pep. Glasshouse Crops Res. Inst.*, 1979, 58-59.
7. Jensen, M. H y Malter, A. J. 1995. Protected Agriculture: A Global Review. *World Bank Technical Paper* nº 253.
8. Smith, D. L. 1987. *Rockwool in horticulture*. Grower Books. London: 55.

Tabla 1
Ecuaciones obtenidas a partir de datos experimentales correspondientes a los 3 sectores ensayados

| Sector | Ecuación | R2 |
|--------|---|--------|
| 1 | $y = 8 \cdot 10^{-7}x^3 + 0.0022x^2 + 0.117x$ | 0.9980 |
| 2 | $y = 10^{-5}x^3 - 0.0018x^2 + 0.5699x$ | 0.9986 |
| 3 | $y = 10^{-5}x^3 + 0.0012x^2 + 0.1501x$ | 0.9959 |

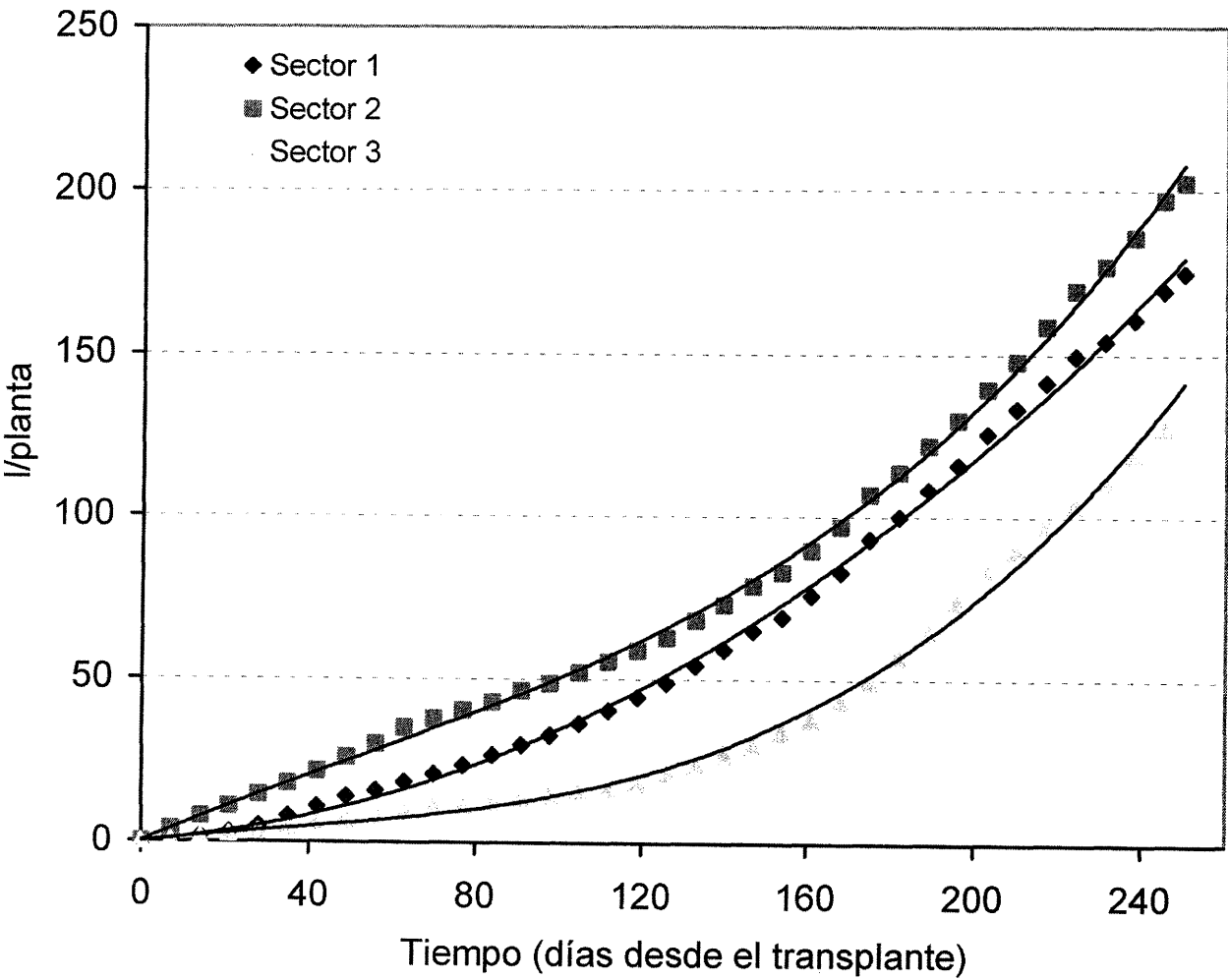


Figura 1. Consumo de agua acumulado en el sector 1 con sustrato arena y aporte de CO2 a lo largo del ciclo de cultivo.

Influencia del potencial redox y del pH sobre la química del arsénico en agua de riego

► **Pedro Aracil, Yolanda Lario, Fabián Guillén, Francisco Burló, Daniel Valero Domingo Martínez Romero, Angel A. Carbonell Barrachina**

División Tecnológica de Alimentos, Departamento Tecnología Agroalimentaria. Universidad Miguel Hernández

► **Ronald D. De Laune; Aroon Jugsujinda**

Wetland Biogeochemistry Institute, Louisiana State University, Baton Rouge; Los Ángeles

Durante los últimos cinco años, la contaminación del Río Segura ha sido un tema de patente actualidad, especialmente en lo concerniente a la contaminación por cadmio. Recientemente, también se han encontrado altos niveles de arsénico (As) en el agua de este río. Debido a la mala reputación de este elemento y para evitar que los consumidores de productos irrigados por agua del Segura se asusten, es necesario disponer de un estudio completo de la biogeoquímica del As en el agua y de su posible destino. Debido a que la toxicidad del As está principalmente marcada por su especie química, este experimento estudia sistemáticamente la especiación de As en agua contaminada en función del pH y del potencial redox (Eh). Bajo condiciones aeróbicas, la concentración de As fue baja y la mayor parte del As soluble estaba constituido por especies orgánicas; el ácido dimetilarsínico fue siempre la especie orgánica predominante. Bajo condiciones moderadamente reductoras (0-100 mV), el arsenito fue la especie inorgánica dominante y la concentración de As aumentó significativamente debido a la disolución de los hidróxidos férricos de los sedimentos fluviales. Tras la reducción hasta -250 mV, la concentración de

As fue controlada por la formación de sulfuros insolubles o agregados estables con la materia orgánica; como consecuencia, el contenido de As soluble descendió significativamente comparado con los niveles encontrados a 0 mV. La especiación de As también se vio influenciada por el pH. El As soluble fue máximo a valores de pH cercanos a la neutralidad, y decreció tanto bajo condiciones ácidas como básicas. A pH 5'0, las especies inorgánicas eran las especies dominantes, sin embargo, a pH 6'5, las especies orgánicas fueron las más abundantes. Condiciones más alcalinas (pH 8'0) comportaron concentraciones similares de especies inorgánicas y orgánicas. La biometilación de As se observó a valores de pH de 6'5 y 8'0, pero se vio fuertemente restringida a pH 5'0.

Introducción

La toxicidad del As para los seres vivos ha sido la causa de su amplio uso como insecticida, herbicida, fungicida y desecante foliar (Marín *et al.*, 1992). Durante las últimas décadas, se ha detectado una acumulación progresiva de residuos de As en suelos agrí-

colas, sedimentos marinos y lacustres y en aguas de riego, cuyos efectos tóxicos perduran en el tiempo, incluso después de que su aplicación haya cesado (O'Neill, 1995). Mención a parte merece los casos de envenenamientos masivos por consumo de agua potable con elevados contenidos de este metaloide, por ejemplo Bangladesh (Nickson *et al.*, 1998). Esta acumulación de As en suelos agrícolas y agua de riego constituye una vía potencial de entrada del contaminante en la cadena alimentaria humana.

Este metaloide se diferencia de la mayoría de los metales pesados en que sus derivados orgánicos son menos tóxicos que los inorgánicos, tanto para animales y humanos como para vegetales (Sohrin *et al.*, 1997).

Hasta el presente momento se conocen cuatro especies arsenicales fundamentales en el sistema agua/suelo/planta (Sohrin *et al.*, 1997). El arseniato es la especie termodinámicamente estable bajo condiciones aeróbicas y, normalmente, se encuentra presente como H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-} . El arseniato es un compuesto químico análogo al fosfato y puede interferir en el proceso metabólico de transferencia de energía (Terwelle y Slater, 1967). El arsenito es una especie neutra a los pH normales en aguas y suelos e inhibe la actividad de diversas enzimas al enlazarse a los grupos tiol de las mismas. Los ácidos monometilarsónico [$\text{CH}_3\text{AsO}(\text{OH})_2$; AMMA] y dimetilarsínico [$(\text{CH}_3)_2\text{AsO}(\text{OH})$; DMAA; también conocido como ácido cacodílico, AC] también forman aniones en suelos y aguas, pero son mucho menos tóxicos que las especies inorgánicas (Sohrin *et al.*, 1997).

La solubilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad del As dependen fundamentalmente de su estado de oxidación (Masscheleyn *et al.*, 1991a). Por lo tanto, parece imprescindible el estudiar la especiación del arsénico en el agua de riego para tener un conocimiento exhaustivo de los daños potenciales que el empleo de esta agua puede llegar a causar sobre los cultivos y finalmente sobre el consumidor de los productos vegetales irrigados con esta agua. El objetivo,

por tanto, de nuestro trabajo es recabar el máximo de información posible sobre el efecto que el potencial redox y el pH del agua y de los sedimentos fluviales ocasionaría sobre la solubilidad y especiación del arsénico.

Materiales y métodos

Suspensiones acuosas de sedimentos procedentes del río Segura fueron equilibradas (a 25 ± 2 °C) en microsistemas de laboratorio bajo diversas condiciones de potencial redox (Eh) y pH, usando una modificación del sistema de control automático de Eh-pH desarrollado por Patrick *et al.* (1973). En este sistema, el Eh es mantenido automáticamente a un Eh previamente seleccionado. Un electrodo de platino se encuentra conectado a un potenciómetro que proporciona una lectura continua del Eh de la suspensión de sedimentos. Los microsistemas son continuamente purgados con nitrógeno libre de impurezas de oxígeno o con aire atmosférico según las condiciones deseadas. En ausencia de O_2 , diversos procesos químicos y microbiológicos causan un descenso del Eh. Cuando el Eh cae por debajo del valor prefijado, una pequeña cantidad de O_2 es añadida al sistema para mantener el Eh deseado. Empleando este sistema, el valor preestablecido del Eh se mantiene en un rango de ± 20 mV.

Las suspensiones se prepararon empleando 250 g de sedimento y 1.500 mL de agua de riego típica del río Segura. El contenido de As en el agua fue 0'0008 mg/L.

El compuesto arsenical seleccionado para ser adicionado a la suspensión fue el arsenito sódico debido a que el arsenito es la especie arsenical más tóxica (Ferguson y Gavis, 1972), soluble y móvil (Deuel y Swoboda, 1972). Tras 7 días de equilibrio de las suspensiones, se añadió arsenito en una proporción de 100 mg As kg⁻¹ sedimento. Se trabajó con las siguientes condiciones experimentales: pH, 5'0, 6'5 y 8'0; Eh, -250, 0, +100, +325 y +450 mV. El pH de las suspensiones se ajustó manualmente, dos veces al día adicionando

HCl o NaOH 2M, según necesidades. Las suspensiones necesitaron 7 días para alcanzar un Eh de -250 mV; posteriormente se mantuvieron a ese Eh durante otros 7 d. Entonces se extrajeron dos alícuotas de la suspensión y se centrifugaron a 5.000 rpm durante 30 min. El sobrenadante se filtró bajo atmósfera de N₂ a través de filtros de un tamaño de poro de 0'45 mm, empleando un sistema de filtrado a vacío (Patrick y Henderson, 1981). Una alícuota se usó para determinar las diversas especies de As soluble, y a la segunda muestra se le añadió HCl concentrado (200 µL/20 mL) para evitar transformaciones entre las especies arsenicales.

Una vez finalizado este muestreo, se procedió a oxidar las suspensiones hasta alcanzar un valor del Eh de 0 mV. Después de 14 d de equilibrio a 0 mV, el proceso de muestreo fue repetido para las especies arsenicales solubles, el sulfato soluble y los sulfuros totales. Posteriores fases de oxidación se llevaron a cabo a niveles de +100, +325 y +450 mV, respectivamente. Después de 14 días bajo las condiciones deseadas, se procedió al muestreo pertinente. El experimento se llevó a cabo por duplicado. Bajo condiciones fuertemente ácidas, pH 5'0, no se pudieron alcanzar condiciones altamente reductoras (-250 mV), por lo que no existen datos para estas condiciones.

La determinación y cuantificación de las diversas especies de arsénico (arsenito, arseniato, AMMA y ADMA) se realizó mediante la técnica analítica de generación de hidruros en medios de pH controlado, empleando trampas frías (adsorción sobre soporte cromatográfico sumergido en nitrógeno líquido) y posterior determinación de las diferentes arsinas, previamente generadas por reducción con NaBH₄, mediante espectrometría de absorción atómica (HG-CT-AAS, espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros y trampa fría). Dicha técnica está descrita de forma detallada en Carbonell-Barrachina *et al.* (2000) y consiste en una modificación del método desarrollado por Masscheleyn *et al.* (1991b).

El análisis estadístico de los resultados fue realiza-

do por medio de los procedimientos PROC GLM y PROC ANOVA del paquete informático SAS (SAS, 1987).

Resultados y discusión

La Figura 1 resume los efectos del Eh y pH sobre la solubilidad del As (As total), As inorgánico y As orgánico en suspensiones acuosas de sedimentos. La solubilidad del As fue generalmente mayor bajo condiciones reductoras, disminuyendo significativamente ($P < 0.01$) tras la oxidación de las suspensiones. Las máximas concentraciones de As total se encontraron a pH 6'5 para 450, 325, 0 y -250 mV; sin embargo, a 100 mV, el As soluble fue máximo a pH 8'0. La presencia de especies metiladas arsenicales sugiere que la química del As está dominada por transformaciones químico-biológicas entre especies orgánicas e inorgánicas. Algunas de estas transformaciones, tales como la oxidación de arsenito a arseniato, son catalizadas por la presencia de microorganismos, pero pueden llegar a ocurrir sin ellos; otras, tales como la metilación, son termodinámicamente desfavorables y únicamente pueden darse en presencia de microorganismos.

Efecto del pH y el Eh sobre el arsenito, arseniato, AMMA y ADMA

La Figura 1a muestra la distribución de especies de As a varios valores de Eh: 450, 325, 100, 0, y -250 mV a pH 5'0. Bajo condiciones aeróbicas (450 mV), la solubilidad del As es baja y esta dominada por el ADMA, representando un $74 \pm 38\%$ del total de As soluble. La principal forma inorgánica es el arseniato, $23 \pm 9\%$, comparado con un $1'6 \pm 1'6\%$ del arsenito. Bajo condiciones aeróbicas (325 y 450 mV), la movilidad y solubilidad del As están directamente relacionadas con la química del hierro. El As será coprecipitado o inmovilizado por la formación de óxidos hidratados de hierro insolubles (Ferguson y Gavis, 1972; Masscheleyn *et al.*, 1991c). El As también puede resul-

tar inmovilizado, aunque en una menor proporción, por retención en compuestos de alta área superficial, como por ejemplo materia orgánica (Mitchell y Barr, 1995).

Tras una reducción, la solubilidad del As aumenta sustancialmente, con las especies inorgánicas pasando a ser mayoritarias. A 0 y 100 mV, aproximadamente $90 \pm 1\%$ del As total soluble estaba constituido por As inorgánico. A 0 mV, el arseniato es la especie predominante ($58 \pm 12\%$). La mayor concentración de As soluble se encontró a 0 mV, con las especies inorgánicas constituyendo el $68 \pm 14\%$ del total. La cantidad de As total aumentó en aproximadamente 7 veces tras reducirse el Eh desde 450 mV hasta 0 mV.

Independientemente del Eh, tanto AMMA como ADMA fueron detectados en concentraciones muy bajas ($< 40 \text{ ng mL}^{-1}$), sugiriendo que la metilación fue casi inexistente bajo condiciones ácidas, pH 5'0.

La concentración de As soluble también fue dependiente del pH. Un aumento del pH desde 5'0 hasta 6'5 provocó un aumento de la solubilidad del As a -250, 0, 325 y 450 mV. Las concentraciones de As soluble están controladas más por reacciones de adsorción/desorción que por reacciones de precipitación/disolución (Livesey y Huang, 1981). Al aumentar el pH de la suspensión, los grupos hidroxilo, OH-, reemplazan a los aniones arsenicales de los sitios de adsorción, y el As es liberado hacia la columna de agua.

El ADMA fue la especie dominante bajo condiciones aeróbicas y moderadamente anaeróbicas a pH 6'5 (Fig. 1b). Tras una posterior reducción a -250 mV, las especies inorgánicas de As se convierten en dominantes, sin embargo el ADMA está todavía presente en una concentración apreciable ($22 \pm 1\%$ del total de As soluble). El ADMA parece estar presente en la mayoría de suelos y puede llegar a predominar en muchos de ellos (Braman, 1975). Los resultados de este estudio sugieren que el ADMA fue producido tanto bajo condiciones óxicas como anóxicas, presumiblemente por metilación bacteriana y posterior liberación. Sohrin *et*

al., (1997) demostraron que los microorganismos de sedimentos lacustres eran capaces de metilar As, y como resultado final se producía arsenito y especies metiladas. La fauna microbiana, en sedimentos aeróbicos y anaeróbicos, sintetizan y excretan compuestos metilados arsenicales (Reimer y Thompson, 1988; Sohrin *et al.*, 1997), y además estos arsenicales pueden ser también liberados tras la muerte de los microorganismos (Neff, 1997).

En el presente trabajo, el AMMA fue siempre la especie minoritaria, sugiriendo que esta especie no es un intermediario en el proceso de metilación del arsenito adicionado a las suspensiones.

La metilación teóricamente no ocurrirá de forma abiótica ya que los enlaces C-C, C-N y C-O son más estables que los enlaces C-As (Williams, 1987; Gao y Burau, 1997). Por lo tanto, los compuestos metilados arsenicales deben ser producidos por la acción microbiana acoplada a un sistema de transferencia de energía. La dependencia de la especiación de As con respecto al pH y al Eh puede estar relacionada con el rango de tolerancia de los microorganismos bajo diversas condiciones de pH y Eh. La toxicidad de las diversas especies de As para los microorganismos sigue el siguiente orden: arsenito > arseniato > AMMA > ADMA (Anderson y Abdelhami, 1980; Gao y Burau, 1997).

A pH neutros y alcalinos, la existencia del proceso de metilación es evidente porque se encontraron grandes cantidades de arsenicales orgánicos, particularmente ADMA. Condiciones más ácidas, sin embargo, disminuyen este proceso. Bajos valores de pH parecen haber restringido la actividad bacteriana a un mínimo.

Bajo condiciones cercanas a la neutralidad, pH 6'5, y valores de Eh de 450, 325, 100 y 0 mV, el arseniato fue especie con de mayor concentración (Figura 1b). Aunque termodinámicamente inestable, se encontraron cantidades considerables de arseniato bajo condiciones altamente reductoras, -250 mV, suponiendo el $32 \pm 7\%$ del total de As soluble. Estos datos indican que la cinética juega un papel fundamental en la con-

versión entre arseniato y arsenito. Cutter (1992) analizó la distribución de especies arsenicales en agua del Mar Báltico y concluyó que las especies termodinámicamente inestables (arsenito en agua óxica y arseniato en agua anóxica) eran estabilizadas cinéticamente.

Bajo condiciones más alcalinas, pH 8'0 (Figura 1c), la solubilidad del As disminuyó con respecto a la observada a pH 6'5. Tras una oxidación de las suspensiones desde 0 a 450 mV, se observó una disminución constante de las dos especies mayoritarias, arseniato y ADMA. Se encontraron concentraciones similares de las especies inorgánicas y orgánicas para todos los niveles de óxido-reducción. Bajo condiciones extremadamente reductoras, -250 mV, el arsenito pasa a ser la especie dominante a pH 8'0, suponiendo un 55% del total de As soluble.

La influencia del potencial redox sobre la solubilidad de As en suelos agrícolas esta controlada fundamentalmente por: 1) reducción de arseniato a arsenito, seguida de desorción y 2) disolución de oxihidróxidos de Fe y posterior liberación del arseniato coprecipitado. En nuestro experimento, existe un nuevo parámetro a controlar; éste es la elevada afinidad del arsenito por el azufre para la formación de sulfuros insolubles de As.

El gran aumento de la solubilidad de As bajo condiciones reductoras (0 y 100 mV) estuvo probablemente relacionado con la disolución reductiva de los oxihidróxidos de Fe. En nuestro experimento, las concentraciones de Fe soluble estuvieron positivamente correlacionadas ($P < 0.01$) con el As total soluble entre 0 y 450 mV a valores de pH de 5'0, 6'5 y 8'0 ($R^2 = 0'88$, $0'71$ y $0'96$, respectivamente), sugiriendo que los oxihidróxidos férricos son importantes en el control de las reacciones de adsorción/desorción de las especies aniónicas arsenicales.

Existen evidencias de la alta afinidad entre As y S (Ferguson y Gavis, 1972); el descenso observado del As soluble tras la reducción desde 0 a -250 mV, indica que la solubilidad del As puede verse limitada por la formación de sulfuros insolubles de As o por procesos

de adsorción sobre sustancias orgánicas. Por lo tanto, tras la reducción del arseniato a arsenito bajo condiciones reductora, si el S y/o la materia orgánica son abundantes, gran parte del As reaccionará con ellos, disminuyendo significativamente la solubilidad del As.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Generalitat Valenciana, a través del Proyecto GV99-141-1-13.

Bibliografía

- Anderson A.C. y Abdelhani A.A. (1980) Bull. Environ. Contam. Toxicol. 24, 124-127.
- Braman R.S. (1975) En: Woolson, E.A. (Eds.). Arsenical Pesticides. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 108-123.
- Carbonell-Barrachina A.A., Jugsujinda A., Burló F., Delaune R.D. y Patrick W.H., Jr. (2000) Wat. Res. 34, 216-224.
- Cutter G.A. (1992) Mar. Chem. 40, 65-80.
- Deuel L.E. y Swoboda A.R. (1972) J. Environ. Qual. 1, 317-320.
- Ferguson J.F. y Gavis J. (1972) Water Res. 6, 1259-1274.
- Gao S. y Bureau G. (1997) J. Environ. Qual. 26, 753-763.
- Livesey N.T. y Huang P.M. (1981) Soil Sci. 131, 88-94.
- Marín A.R., Masscheleyn P.H. y Patrick, W.H., Jr. (1992). Plant Soil 139, 175-183.
- Masscheleyn P.H., DeLaune R.D. y Patrick W.H. Jr. (1991a.) Environ. Sci. Technol. 25, 1414-1419.
- Masscheleyn P.H., DeLaune R.D. y Patrick W.H. Jr. (1991b) J. Environ. Qual. 20, 96-100.
- Masscheleyn P.H., DeLaune R.D. y Patrick W.H. Jr. (1991c) J. Environ. Qual. 20, 522-527.
- Mitchell P. y Barr D. (1995) Environ. Geochem. Health. 17, 57-82.

- Neff J.M. (1997) *Environ. Toxicol. Chem.* 16, 917-927.
- Nelson D.W. y Sommer L.E. 1982. En: Page, A.L., Miller R.H. y Keeney D.R. (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part II. Chemical and biological properties.* Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition). Madison, WI, pp. 539-579.
- Nickson R., McArthur J., Burgess W., Ahmed K.M., Ravenscroft P. y Rahman M. (1998) *Nat.* 395, 338-338.
- O'Neill P. (1995). En: Alloway, B.J. (Ed.) *Heavy Metals in Soils.* Blackie Academic & Professional, Londres, pp. 105-121.
- Patrick W.H. Jr., Williams B.G. y Moraghan. J.T. (1973) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37, 331-332.
- Patrick W.H. Jr. y Henderson R.E. (1981) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 855-859.
- Reimer K.J. y Thompson J.A.J. (1988) *Biogeochemistry.* 6, 211-237.
- SAS (Statistical Analysis System). 1987. *SAS/STAT User's Guide for Personal Computers.* SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sohrin Y., Matsui M., Kawashima M., Hojo M. y Hasegawa H. (1997) *Environ. Sci. Technol.* 31, 2712-2720.
- Terwelle H.F. y Slater E.C. (1967) *Biophys. Acta.* 143, 1-17.
- Williams R.J.P. (1987) En: P.J. Craig, P.J. y F. Gloeking, F. (Eds.). *The Biological Alkylation of Heavy Elements.* Royal Soc. of Chemistry, Londres, pp. 5-19.

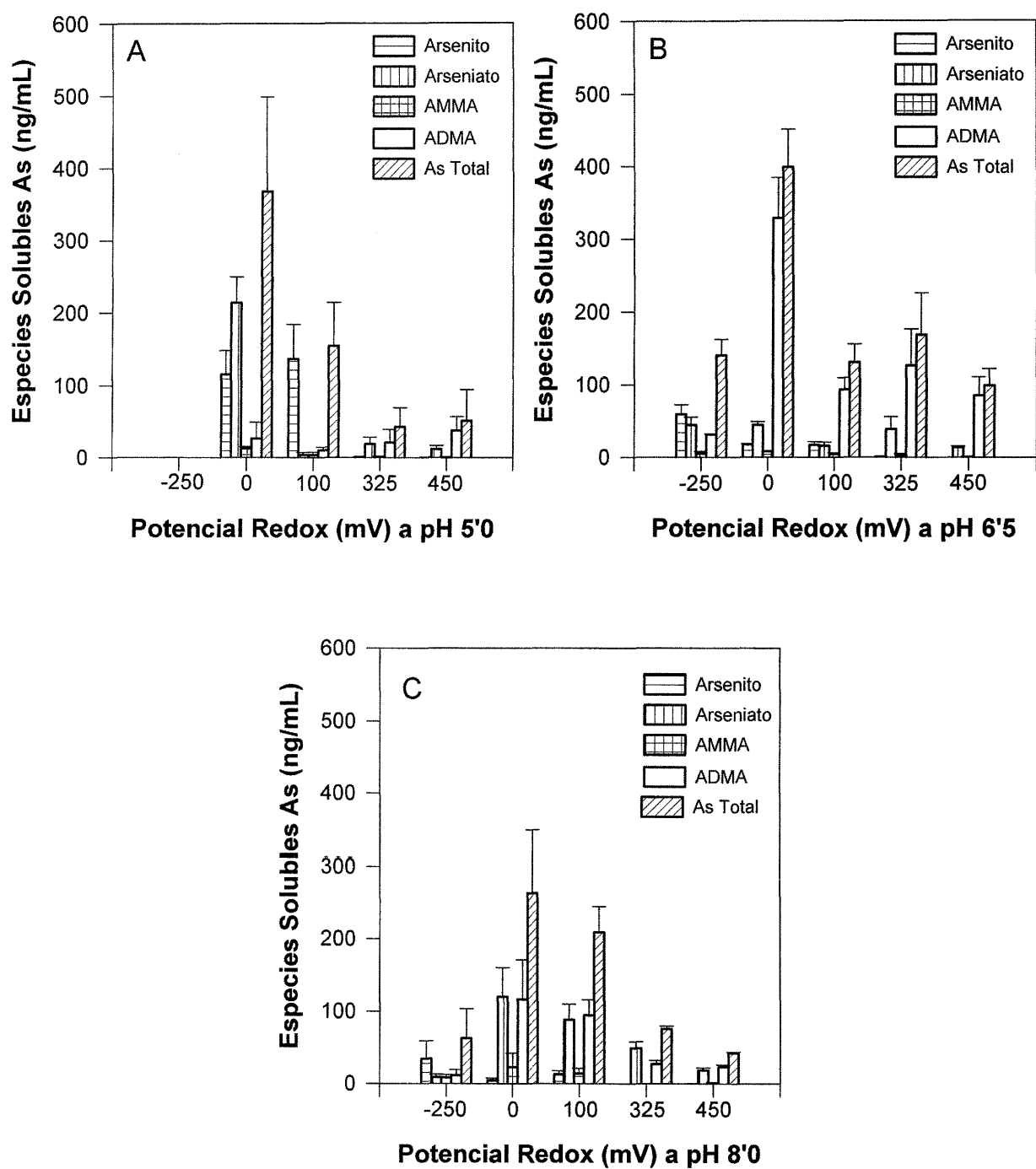


Figura 1. Distribución de las diversas especies arsenicales en suspensiones acuosas de sedimentos fluviales y agua del río Segura bajo condiciones controladas de Eh y pH. (A) Sistemas a pH 5'0, (B) Sistemas a pH 6'5, (C) Sistemas a pH 8'0. Las barras de error representan el error estándar.

Caracterización hidrodinámica de un suelo semiárido

■ **A. Ruiz Canales**

Unidad de Hidráulica y Riegos. Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández

■ **J.M. Abrisqueta García**

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CSIC

■ **J.A. Franco Lehemuis; J.A. Plana Arnaldos**

Departamento de Producción Agraria. Universidad Politécnica de Cartagena

Resumen

En esta comunicación se describe la experiencia de caracterización de una parcela con un suelo semiárido con infiltrómetro de doble anillo, sonda de neutrones y batería de tensiómetros y las medidas más importantes. Se distinguen dos procesos fundamentales: infiltración y redistribución. Cada uno se caracteriza independientemente. La etapa de redistribución se subdivide a su vez en dos: redistribución sin evaporación y redistribución con evaporación.

Como funciones características se determinan entre otras, la conductividad hidráulica del suelo en profundidad (a 1 m. de profundidad) en función de la humedad $K(\theta) = 5,373 \cdot 10^{-6} \cdot$

$\cdot 10,4828 \cdot q \text{ mm}\cdot\text{hora}^{-1}$. Con esta función, que depende de la humedad, se puede determinar el drenaje del agua en profundidad. Este dato es de gran importancia para calcular el balance hídrico del agua en el suelo en un marco de plantación de referencia.

Introducción

El movimiento del agua en el suelo es un ciclo con-

tinuo, que se inicia con la entrada de agua en el suelo mediante el proceso de infiltración, continuando con un almacenaje temporal en el suelo, y finalizando mediante la salida del agua en procesos como: drenaje, evaporación y absorción por la planta. Estos procesos se pueden estudiar separadamente (Hillel, 1980).

Con objeto de estimar directamente la infiltración que puede tener lugar en grandes superficies de suelo, se emplean con frecuencia infiltrómetros concéntricos de doble anillo. La superficie del suelo que queda en el interior del anillo menor y la que queda entre los anillos se mantienen encharcadas y las medidas se hacen en el interior del anillo menor. El movimiento lateral del agua en el suelo se supone que se origina desde la superficie de suelo que hay entre los anillos, de esta forma se puede considerar que el movimiento del agua en el interior del anillo menor es exclusivamente vertical. Existe, a pesar de todo, un movimiento lateral desde el interior del anillo pequeño, el cual no puede ser determinado y evaluado de forma sencilla (Zabek, 1991).

Para caracterizar hidrodinámicamente un suelo, se determinan por separado los procesos de infiltración,

redistribución, movimiento del agua en el suelo posterior a la infiltración, evaporación y drenaje. Cada uno de estos procesos dependen básicamente de la humedad volumétrica y de la carga hidráulica medidas a distintas profundidades y del tiempo.

Material y métodos

La finca en la que se realizaron las experiencias está situada aproximadamente en el centro de la región de Murcia, a unos 35 km de su capital (1°, 25' de longitud este; 37° 52' de latitud norte y una altitud media sobre el nivel del mar de 400 metros).

Para la realización de este trabajo se ha elegido una parcela de 17600 m², situada aproximadamente en el centro de la finca. El trabajo experimental de caracterización hidrodinámica fue llevado a cabo en un lugar de la parcela experimental cuyo suelo fue convenientemente estudiado texturalmente al objeto de obtener la zona representativa de las características medias de la parcela. La zona era representativa de las características texturales del suelo (el parámetro d₅₀ adquiere un valor medio $- 7.123 \pm 5.038 \mu\text{m}$ – de los existentes en la parcela).

La medida del contenido de agua en el suelo, en un perfil de hasta 140 cm. de profundidad y su evolución a lo largo del tiempo se realizó mediante una sonda de neutrones Troxler 4300, que se calibró previamente, además de utilizar un tubo de acceso de hierro galvanizado de 38 mm de diámetro interno con una longitud de 1.4 metros.

Las medidas de la carga hidráulica (H), así como de la succión (h) del suelo, se realizaron empleando tensiómetros con manómetro de mercurio (Marshall y Holmes, 1988), desde 10 hasta 150 cm de profundidad, a intervalos de 10 cm. Las medidas a lo largo del perfil constituyen lo que se denomina perfil de carga hidráulica.

Concéntricos con el tubo de acceso para la sonda de neutrones, se colocaron los dos anillos de un infiltrómetro, ambos de 0.32 m de altura, cuyos diámetros son

0.40 m y 1.60 m, de forma que ocuparon 0.125 m² de superficie interior y 2.01 m² de superficie total, suficiente para asegurar la condición de ausencia de flujo lateral en el centro del infiltrómetro. Ambos anillos fueron clavados en el suelo hasta una profundidad de 0.20 m, por lo que estos sobresalían por encima de la superficie una altura de 0.12 m. Fuera del anillo interior, pero lo más cerca posible de éste, fue instalada una batería de 15 tensiómetros con manómetro de mercurio que cubrieron todo el perfil, desde los 10 cm hasta los 150 cm de profundidad a intervalos de 10 cm. La instalación se realizó de tal manera que los tensiómetros circundaban el tubo de acceso de sonda.

En estas condiciones, y antes de proceder a la infiltración de agua, se registró el perfil hídrico y tensiométrico a los que denominamos iniciales. La adición de agua para la infiltración se realizó tanto para el anillo interior como para el exterior, manteniendo en ambos una lámina de agua de 1 cm de espesor. Durante el tiempo que duró este proceso se siguieron registrando los perfiles hídricos y tensiométricos (o perfiles hidráulicos) hasta la profundidad considerada para el estudio.

Se tomó como criterio para dar por concluida la infiltración, el momento en que el tensiómetro situado a mayor profundidad (150 cm) comenzó a registrar la presencia de agua, indicando la llegada del frente húmedo hasta esa profundidad.

Al final de la infiltración se cubrió la superficie mojada de suelo con plástico y sobre él se colocó una capa de 5 cm de espesor de poliestireno expandido a fin de evitar la evaporación durante el proceso de redistribución. Se tomó como tiempo cero de este proceso exactamente el final de la infiltración, es decir, cuando el agua que cubría la superficie del suelo desapareció. En ese momento se midieron los perfiles hídricos e hidráulicos, tomándose como iniciales del proceso mencionado. Transcurridas 1.442 horas y 15 minutos, se descubrió la superficie del suelo para medir la redistribución con evaporación.

El criterio seguido para descubrir la superficie del

suelo fue escoger el momento en que el perfil hídrico fuese más o menos vertical (en un sistema de coordenadas cartesianas ortogonales, donde la humedad se representa en la parte positiva del eje OX y la profundidad en la parte negativa del eje OY), este hecho indica que la humedad en todas las capas del perfil es aproximadamente la misma.

Las medidas hídricas e hidráulicas del perfil después de quitar los plásticos que cubrían la superficie del suelo se prolongaron hasta las 2.333 horas, tiempo en el que se dio por terminada la experiencia de caracterización hidrodinámica del suelo. Además de las medidas que fueron efectuadas durante la infiltración, el número de perfiles hídricos e hidráulicos fue de 37, repartidos entre las 2.333 horas.

A partir de los perfiles hídricos es posible calcular la cantidad de agua almacenada entre la superficie del suelo y una profundidad dada, para un tiempo determinado, mediante la integración de estos perfiles en los tiempos fijados. Esta integración puede llevarse a cabo fácilmente si se asocia el contenido de humedad (q), medido a una profundidad Z. El criterio de Vachaud y col. (1978) y de Moreno y col. (1983) es considerar que la sección de suelo de 10 cm de espesor rodea al punto a una profundidad z, por tanto, los puntos situados a 10 cm y a 150 cm tienen espesores de capa de suelo de 15 y de 5 cm respectivamente.

En nuestro caso hemos encontrado que, si se consideran las capas de suelo del mismo espesor, las diferencias con el criterio seguido por dichos autores son despreciables. Por tanto hemos estimado convenientemente considerar todas las capas de suelo de igual espesor (10 cm) y la localización del punto de medida en la parte inferior de las mismas.

Teniendo en cuenta el anterior criterio, la cantidad de agua almacenada (S), expresada en mm, entre 0 y 140 cm de profundidad vendrá dada por:

$$S = \theta_{10} + \theta_{20} + \dots + \theta_j + \dots + \theta_{140} \tag{1}$$

donde qj es el contenido volumétrico de agua expresado en tanto por ciento en una capa de suelo de 10 cm de espesor, cuya base esta situada a una profundidad j.

Con la Ecuación 1 se han calculado los stocks de agua a diversas profundidades y tiempos.

Resultados y discusión

Durante el proceso de infiltración de agua se midieron los perfiles hídricos e hidráulicos a diferentes tiempos hasta que mediante ambas medidas se detectó la presencia de agua a la profundidad de 150 cm. Las Figuras 1 y 2 representan la evolución de dichos perfiles a lo largo del tiempo.

El agua infiltrada acumulada a lo largo del tiempo se calculó por diferencia entre las láminas de agua habidas entre dos fechas consecutivas de medidas, y la velocidad de infiltración dividiendo la infiltración acumulada entre el tiempo en el transcurso del cual se produce dicha infiltración (Tabla 1).

Al representar la infiltración acumulada frente al tiempo transcurrido (Tabla 1), se obtiene una distribución de puntos que, en su primera fase (cuando el suelo está relativamente seco), se ajusta a una ecuación que, de acuerdo con Hillel (1980), es de la forma:

$$I_{ac} = a \cdot \sqrt{t} + b \cdot t \tag{2}$$

Tabla 1
Infiltración acumulada y velocidad de infiltración en función del tiempo

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tiempo (h) | 2.00 | 3.00 | 4.00 | 5.58 | 6.33 | 6.83 | 7.33 | 7.83 | 8.33 | 8.83 |
| dI _{ac} /dt (mm/h) | 39.7 | 36.5 | 35.6 | 30.8 | 28.2 | 27.6 | 26.1 | 25.0 | 23.8 | 23.3 |
| I _{ac} (mm) | 79.50 | 109.73 | 142.62 | 172.44 | 178.85 | 188.97 | 191.26 | 196.06 | 198.82 | 205.65 |

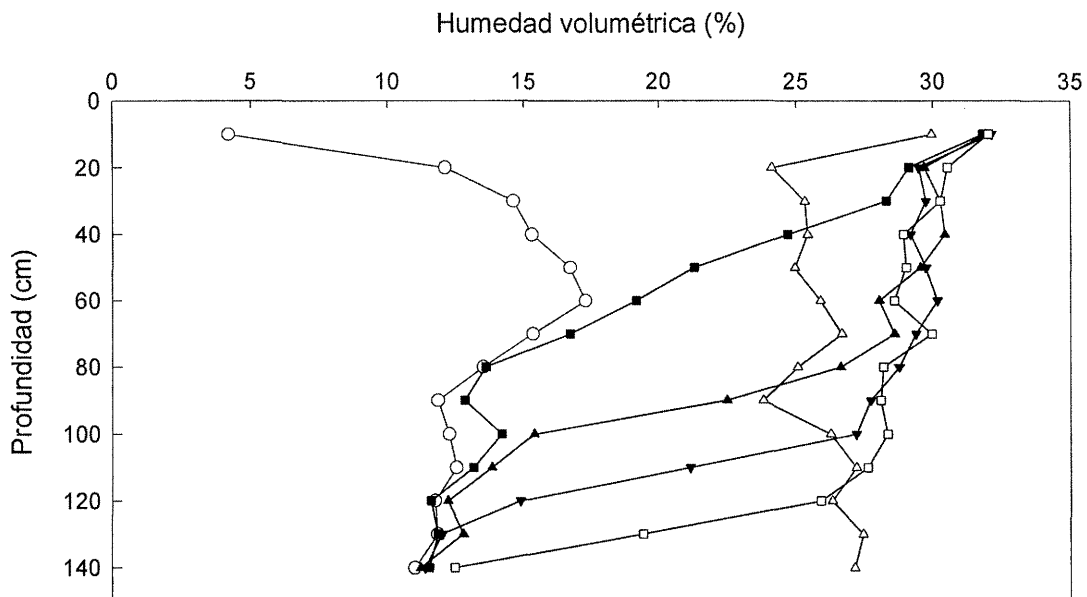


Figura 1. Evolución de los perfiles hídricos durante la infiltración; ○, inicial; ■, 2 horas; ▲, 4 horas; ▼, 5.58 horas; □, 8.83 horas; ▽, 23.33 horas.

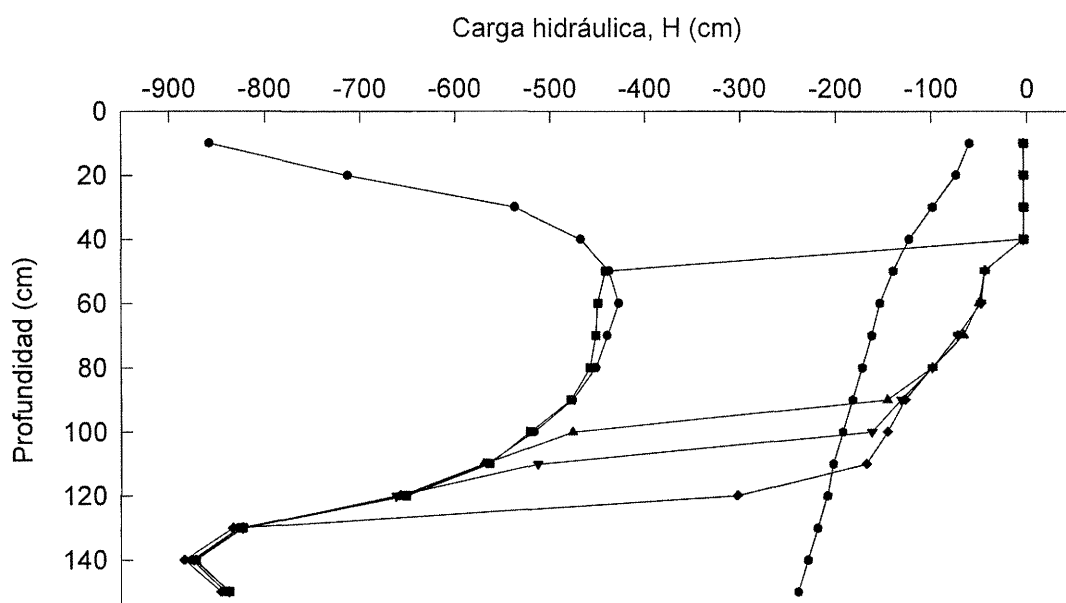


Figura 2. Evolución de los perfiles hídricos durante la infiltración; ●, inicial; ■, 2 horas; ▲, 4 horas; ▼, 5.58 horas; ◆, 8.83 horas; ◆, 23.33 horas.

donde a y b son dos constantes.

Al ajustar nuestros datos a este modelo de ecuación, se obtiene:

$$I_{ac} = 49.3946 \cdot \sqrt{t} + 8.7466 \cdot t \quad (2a)$$

con un coeficiente de determinación, $R^2 = 0.9941^{***}$. La Ecuación 2a se muestra en el tramo izquierdo de la Figura 3, y representa la infiltración en los primeros momentos del proceso.

Según Hillel (1980), este modelo se cumple mientras el suelo está relativamente seco, lo cual en nuestro caso tiene lugar hasta las 6.5 horas aproximadamente;

a partir de entonces, se produce un cambio pasando a ser un modelo lineal cuya ecuación es:

$$I_{ac} = 9.62 \cdot t + 120.3478 \tag{2b}$$

con un coeficiente de correlación $r = 0.9791^{***}$. El tramo recto de la Figura 3 representa esta ecuación lineal.

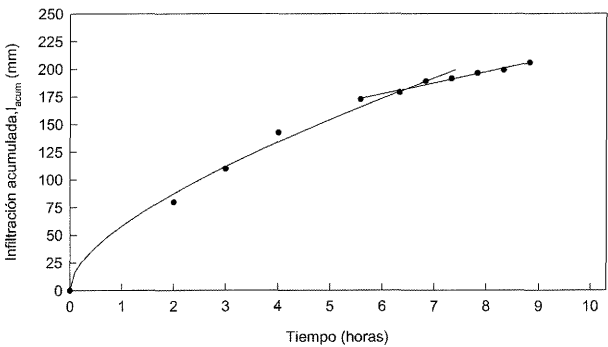


Figura 3. Evolución de la infiltración acumulada durante la fase inicial de humectación de la superficie del suelo.

Al derivar la Ecuación (2a) con respecto al tiempo, se obtiene:

$$\frac{dI_{ac}}{dt} = \frac{24.6973}{\sqrt{t}} + 8.7466 \tag{3a}$$

que representa la variación de la infiltración con el tiempo (es lo que se denomina velocidad de infiltración), la cual es alta al principio pero posteriormente va disminuyendo hasta hacerse constante.

El límite de la Ecuación 3a, cuando t tiende a infinito es:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dI_{ac}}{dt} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{.6973}{\sqrt{t}} + 8.7466 \right] = 8.7466 \tag{4a}$$

este valor (8.7466 mm/h) representa la infiltración en el estado estacionario.

Por otro lado, si representamos la velocidad de infiltración (Tabla 1) frente al tiempo, se obtiene una

distribución de puntos que se ajustan a la ecuación siguiente (Figura 4):

$$\frac{dI_{ac}}{dt} = \frac{45.9551}{\sqrt{t}} + 9.4937 \tag{3b}$$

con $R^2 = 0.9590^{***}$, cuyo límite cuando t tiende a infinito es:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dI_{ac}}{dt} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{45.9551}{\sqrt{t}} + 9.4937 \right] = 9.4937 \tag{4b}$$

este valor (9.4937 mm/h) representa también la infiltración en el estado estacionario.

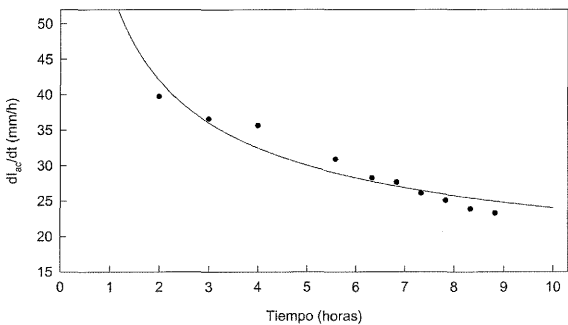


Figura 4. Evolución de la velocidad de infiltración durante la fase inicial de humectación de la superficie del suelo.

Por último, si derivamos la Ecuación 2b y calculamos su límite cuando t tiende a infinito tenemos:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{dI_{ac}}{dt} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{9.62 \cdot t + 120.3487}{dt} \right] = 9.62 \tag{2c}$$

este último valor (9.62 mm/h), que representa la velocidad de infiltración que permanece constante a partir de las 6.5 horas del inicio de la infiltración, y los obtenidos mediante las Ecuaciones 6.34 y 6.36; 8.74 mm/h y 9.49 mm/h respectivamente, son muy similares.

Estos valores representan la velocidad de infiltración cuando se ha llegado al equilibrio, es decir cuando la superficie del suelo se encuentra saturada de

agua. Podemos, entonces, tomar su media (9.28 ± 0.274 mm/h) y asimilarla a la conductividad hidráulica saturada de la superficie del suelo.

El movimiento de postinfiltración del agua en el suelo, puede dividirse en dos tipos: uno, el drenaje interno, lo que quiere decir la presencia de una capa freática cercana a la superficie, y otro que tiene lugar en ausencia de ésta o de su influencia y que se llama redistribución. Nuestro caso, lógicamente, es este último ya que aquélla no existe.

Los resultados correspondientes a los perfiles hídricos se muestran en la Figura 9 se encuentran representados los perfiles hídricos a tiempos que son representativos de toda la fase de redistribución.

El análisis de estos datos pone de manifiesto claramente que, al final de la infiltración ($t = 0$), el agua había alcanzado la profundidad máxima estudiada (140 cm).

Los contenidos totales de agua (stock, S) en la totalidad del perfil (0-140 cm), para diversos tiempos cercanos a $t = 0$ de la redistribución, fueron los siguientes:

| | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| t (horas) | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 |
| S (mm) | 387.18 | 382.59 | 379.72 | 373.00 |

estos resultados muestran la conservación del stock de agua durante 1.5 horas, tiempo en el que los cambios en el perfil hídrico, debido a la redistribución, alcanzan el fondo del tubo ($z = 140$ cm).

La expresión matemática que relaciona la variación del stock con el tiempo es de la forma:

$$S = -a \cdot \ln t + b$$

(5)

Al realizar el análisis de la regresión ajustando los datos a este último tipo de curva, se obtienen las rectas que aparecen en la Figura 6, para los períodos de redistribución sin evaporación y con evaporación respectivamente.

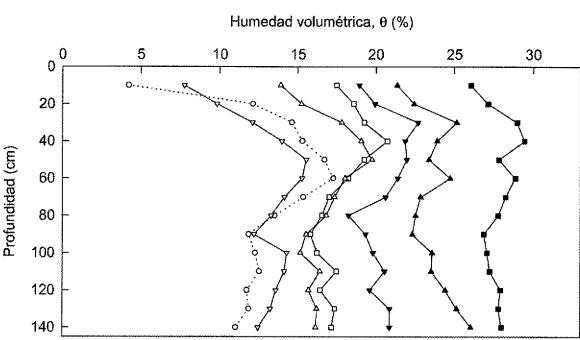


Figura 5. Evolución de los perfiles hídricos en la fase de redistribución. Se representan los perfiles inicial y los correspondientes a seis tiempos (en horas) representativos de toda la fase: O, inicial; ■, 0; ▲, 21; ▼, 93; □, 533.5; ▽, 1538.5; ▴, 2333.

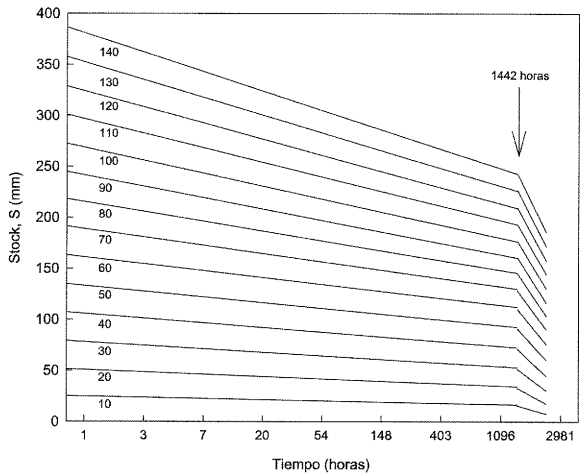


Figura 6. Evolución durante la etapa de redistribución del contenido total de agua (stock) entre la superficie del suelo y diversas profundidades. Se representan conjuntamente el período sin evaporación ($0 < t < 1442$ horas) y el período con evaporación ($t > 1.442$ horas).

Una selección representativa de los perfiles hidráulicos se muestran en la Figura 7.

Esto quiere decir que al cabo de ese tiempo los cambios producidos como consecuencia de la redistribución del agua se dejan sentir en el fondo del perfil. También durante los primeros momentos de esta fase se observa, en las zonas superiores de los perfiles de carga hidráulica, una tendencia hacia una distribución lineal, de pendiente nula, característica de un flujo nulo a través de la superficie. Por otro lado, en profundidad

(a partir de $z = 40$ cm) el gradiente de carga hidráulica (dH/dz) es próximo a -1 , el cual es característico de un flujo gravitatorio (Figura 7).

Si se suponen dos puntos del perfil de un suelo situados a dos profundidades diferentes, z_1 y z_2 , y que en cada uno de estos puntos existe una carga hidráulica, H_1 y H_2 respectivamente, se define entonces el gradiente como el cociente entre la diferencia de carga hidráulica y la diferencia de profundidades entre los puntos considerados del suelo; por tanto, se puede expresar como:

$$\frac{\Delta H}{\Delta Z} = \frac{H_1 - H_2}{z_1 - z_2} = \text{Gradiente de Carga Hidráulica} \tag{6}$$

al expresarse ambos parámetros en las mismas unidades, el gradiente de carga hidráulica es adimensional.

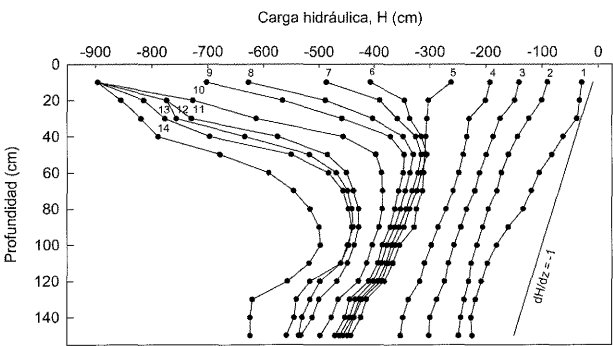


Figura 7. Evolución de los perfiles de carga hidráulica en la fase de redistribución. 1, 0 horas; 2, 20.75 horas; 3, 93 horas; 4, 260.75 horas; 5, 1442.25 horas; 6, 1490.66 horas; 7, 1538.41 horas; 8, 1610.75 horas; 9, 1658.41 horas; 10, 1778.49 horas; 11, 1996.74 horas; 12, 2140.74 horas; 13, 2212.99 horas y 14, 2332.99 horas. También se representa la línea de flujo gravitatorio ($dH/dz = -1$).

Está claro que mientras que la superficie del suelo en el infiltrómetro permanezca cubierta con el plástico, el flujo en la misma será nulo, o en el caso en que no sea así, su signo será positivo y su sentido hacia abajo.

En el momento en que el plástico es retirado de la

superficie del suelo, comienza un proceso de evaporación con flujo en sentido ascendente y por lo tanto negativo. La frontera entre el flujo positivo (descendente) y el flujo negativo (ascendente) tendrá un flujo nulo, y como consecuencia su gradiente también será nulo. El lugar geométrico de los puntos del suelo en los que el gradiente es nulo forma un plano al que se le llama plano de flujo nulo; dicho plano no permanece fijo, sino que aumenta su profundidad con el transcurso del tiempo.

Este concepto de plano de flujo nulo es muy importante ya que, sobre la base de su posición, existirá más o menos evaporación o drenaje. Para la cuantificación de ambos procesos, se considera que las variaciones de stock de agua que haya por encima del plano de flujo nulo serán debidas a la evaporación, y las variaciones de stock que se produzcan por debajo serán debidas a lixiviaciones o drenajes.

La posición del plano de flujo nulo puede ser calculada mediante las curvas $H(z)$, en las que el gradiente nulo ($dH/dz = 0$) se corresponderá con un máximo de la curva $H(z)$. La Figura 8 muestra las mencionadas curvas.

En todas las ecuaciones existe un máximo relativo en el que $dH/dz = 0$. Para calcularlo se obtienen las derivadas primeras, se igualan a cero y se determina qué valores de z las anula. La Tabla 2 muestra los valores de las profundidades a las que está situado el plano de flujo nulo, así como los tiempos en los que son alcanzadas las mismas.

La Figura 9 muestra la evolución del plano de flujo nulo durante la fase de redistribución con evaporación.

Para poder calcular la variación de stock en la parte superior del plano de flujo nulo, es necesario determinar el stock de agua a cada una de las profundidades a las que se encuentra dicho plano y para cada uno de los tiempos en los que se produce la evaporación (esto se lleva a cabo por extrapolación).

Durante el proceso de evaporación tuvieron lugar dos episodios de lluvia; el 24 y el 31 de mayo a las 1.730 y 1.899 horas aproximadamente de iniciada la

redistribución, con 13.4 y 11 mm respectivamente, que obviamente alteraron el proceso de evaporación como se muestra en la Figura 10.

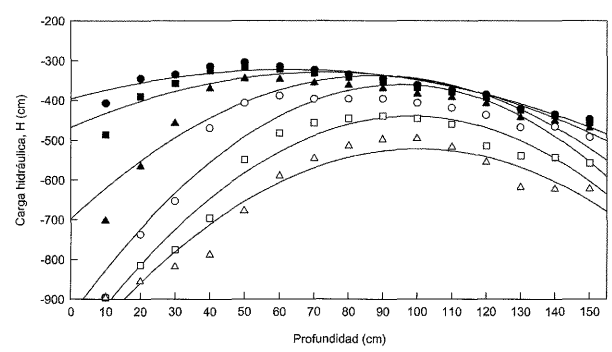


Figura 8. Evolución del potencial de carga hidráulica en función de la profundidad, H(z), para diferentes tiempos en la fase de redistribución con evaporación. ● 1490.66 horas; ■ 1538.41 horas; ▲ 1658.41 horas; ○ 1850.99 horas; □ 2212.99 horas; ≡ 2332.99 horas.

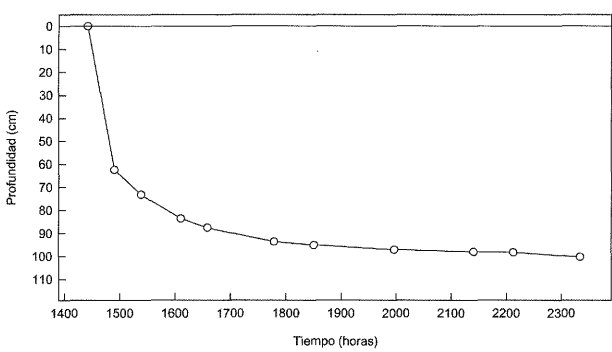


Figura 9. Evolución del plano de flujo nulo durante la redistribución con evaporación.

Si se representa gráficamente el logaritmo neperiano del tiempo frente a la evaporación acumulada se obtiene una distribución de puntos que se ajusta a un modelo cuya expresión matemática es:

$$E = 1128.78 \cdot (\ln t)^3 - 25468.13 \cdot (\ln t)^2 + 191583.68 \cdot \ln t - 480472.84 \tag{7}$$

con un coeficiente de determinación de R2 = 0.9928*** (Figura 10).

Las disminuciones del stock de agua que tienen lugar por debajo del plano de flujo nulo son consideradas como debidas a pérdidas por drenaje o lixiviación. Conocido el stock total en el perfil y conocida la evaporación que tiene lugar, el cálculo del drenaje no presenta dificultad, la simple diferencia entre ambos representa directamente la pérdida de agua por drenaje, de acuerdo con la ecuación:

$$D_{ac}(t) = S_{140}(0) - S_{140}(t) - E_{ac}(t) \tag{11}$$

donde D_{ac}(t), S₁₄₀(t) y E_{ac}(t) son: el drenaje acumulado, el stock y la evaporación acumulada respectivamente, en un tiempo t contado desde el final de la infiltración; y S₁₄₀(0) es el stock de agua al final de la infiltración.

En la figura 11 se representan las conductividades hidráulicas para cada profundidad y tiempo.

Se ha realizado el estudio de la covarianza (comparando las ecuaciones de dos en dos), para comprobar si es correcto englobar todas las curvas en una sola, representativa de todo el perfil estudiado.

Tabla 2. Profundidades del plano de flujo nulo y sus tiempos correspondientes

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| t (h) | 1442.2 | 1490.6 | 1538.4 | 1610.7 | 1658.4 | 1778.4 | 1850.9 | 1996.7 | 2140.7 | 2212.9 | 2332.9 |
| Z _{q=0} (cm) | 0 | 62.44 | 73.24 | 83.61 | 87.60 | 93.69 | 95.06 | 97.06 | 98.06 | 98.28 | 100.23 |

Tabla 3. Cantidad de agua evaporada durante la fase de redistribución con evaporación

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| T (h) | 1442.25 | 1538.41 | 1610.75 | 1658.41 | 1778.49 | 1850.99 | 1996.74 | 2140.74 | 2212.99 | 2332.99 |
| E (mm) | | 11.078 | 9.540 | 1.141 | 2.769 | 2.995 | 1.758 | 9.138 | 3.850 | 8.335 |
| E _{ac} (mm) | 0 | 11.078 | 20.618 | 21.759 | 24.528 | 27.523 | 29.281 | 38.419 | 42.269 | 50.604 |

E = Cantidad de agua evaporada entre dos tiempos (mm).

Eac = Evaporación acumulada (mm).

Las capas de suelo comprendidas entre 20-30 y 130-140 cm de profundidad poseen ecuaciones K(q) significativamente diferentes entre sí y con el resto, por tanto independientes.

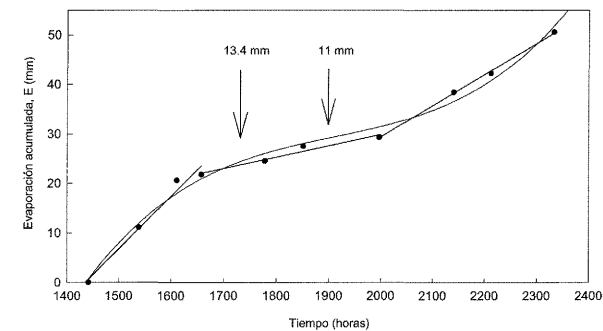


Figura 10. Evolución de la evaporación acumulada durante la fase de redistribución con evaporación. Las flechas indican los momentos en los que se produjeron lluvias que alteraron el proceso evaporativo.

Mediante la Ecuación 11 se ha calculado el drenaje acumulado a lo largo del tiempo. La Tabla 4 muestra estos resultados.

La ecuación K(θ) hallada en el fondo del perfil:

$$K = 1.95 \cdot 10^{-4} \cdot e^{0.3682 \cdot \theta} \tag{12}$$

presenta diferencias estadísticamente significativas con todas las demás. Es por tanto una ecuación independiente y es la que se tendrá en cuenta para el cálculo de los drenajes que deberá realizarse para poder llevar a cabo el balance hídrico, según el método propuesto por Kleinbaum y col. (1988). Las ecuaciones de regresión K(θ) correspondientes a los estratos 20–30, 40–50, 130–140 y el resto (combinación de los estratos 10–20, 30–40 y 50–130) se muestran en la Figura 11.

Para comprobar la anterior ecuación (Ecuación 12), se ha comparado con la Ecuación 11. Los resultados

que se obtienen de los cálculos realizados son los detallados a continuación:

Para el caso de la Ecuación 11, considerando un período comprendido entre el final de la infiltración y un tiempo que estimaremos como el final de la experiencia (t = 2.332,99 horas):

$$D_{ac}(2332.99) = 387.18 - 182.01 - 50.12 = 155.05 \text{ mm} \tag{14}$$

lo que corresponde, según el período considerado, a 0.0664 mm/h.

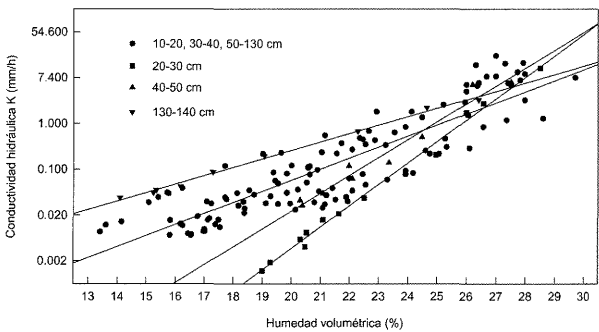


Figura 11. Funciones K(q) para los diferentes estratos de suelo considerados.

Por otro lado, si se considera la ecuación correspondiente a 140 cm de profundidad de la Tabla 16 (Ecuación 50), y dando un valor de q medio para todo el período de tiempo (θ = 15.95 ± 0.3408 %) a 140 cm, se obtiene un valor de K = 0.0693 mm/h, no diferente estadísticamente del anterior (Ecuación 51), lo que en cierta forma valida dicha ecuación, ya que se cumple la condición de que, en el período en el que se aplica, la variación de q es relativamente pequeña. La K(θ)140 indica que en este suelo, en las condiciones actuales, se puede alcanzar un flujo máximo de 5.8 mm/h (139.2 mm/día).

El conocimiento de la función h(θ) es de suma

| Tabla 4. Valores del drenaje acumulado durante la fase de redistribución con evaporación | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| t (h) | 1442.25 | 1538.41 | 1610.75 | 1658.41 | 1778.49 | 1850.99 | 1996.74 | 2140.74 | 2212.99 | 2332.99 |
| D _{ac} (mm) | 0 | 0.4517 | 0.7893 | 1.1580 | 4.8986 | 3.2052 | 4.0508 | 8.0895 | 8.4059 | 11.4236 |

importancia, ya que el agua disponible para las plantas deberá estar, lógicamente, en el volumen de suelo que exploren las raíces. A medida que el contenido de agua del suelo va disminuyendo, ésta es extraída por las raíces con más dificultad, ya que disminuye el potencial mátrico del suelo; por tanto, el trabajo que deberán realizar las plantas para extraer el agua del suelo dependerá de la relación $h(\theta)$.

En la Figura 12 se representan las curvas $h(\theta)$ para cada profundidad.

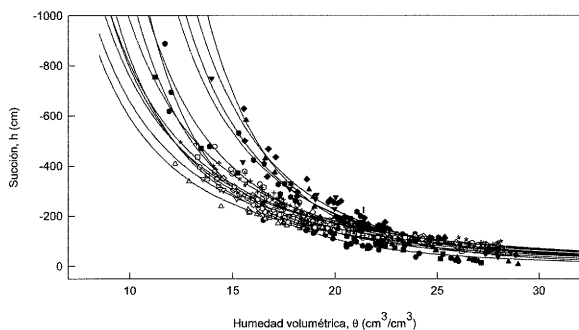


Figura 12. Relación entre la succión y la humedad, $h(\theta)$, para todas las profundidades estudiadas. Los valores en el eje de abscisas están en % para mejor comprensión.

Conclusiones

El conocimiento de las relaciones $K(\theta)$ y $h(\theta)$ permite la determinación correcta, a partir de medidas de balance hídrico de cultivos, de la extracción de agua del suelo por las raíces. Esta información es fundamental para la obtención de variedades mejor adaptadas a determinados climas y suelos.

La caracterización hidrodinámica de un suelo permite establecer la forma más adecuada de aplicar el agua para: 1º satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos con vistas a un aumento de la producción, 2º mantener una reserva hídrica, útil para diversos fines, en la zona de enraizamiento de los cultivos anuales, y 3º recargar las reservas profundas del suelo.

La aplicación del método descrito en este artículo, de determinación in situ de las características hidrodi-

námicas del suelo, supone una indudable ventaja y simplificación sobre otros enfoques utilizados para la estimación del movimiento de agua en medio no saturado.

Una de las características de la función $K(\theta)$, de especial importancia cuando se pretende llevar a cabo un balance hídrico, es que permite estimar el drenaje para cualquiera de las profundidades estudiadas, lo que es fundamental para determinar esta salida de agua del marco de plantación cuando no se dispone de lisímetros.

Bibliografía

HILLEL, D. (1980). Applications of Soil Physics. Academic Press, Ed. New York.

MARSHALL, T.J., HOLMES, J. W. (1988). Soil Physics. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 374 pp.

MORENO, F., VACHAUD, G., MARTÍN-ARANDA, J. (1983). Caracterización hidrodinámica de un suelo de olivar. Fundamento teórico y métodos experimentales. Anales de Edafología y Agrobiología, 42, 695-721.

VACHAUD, G., DANCETTE, C., SONKO, S., THONT, J.L. (1978). Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application a deux types de sol de Sénégal en vue de la détermination des termes de bilan hydrique. Annales Agronomiques, 29, 1-36.

VAN GENUCHTEN, M.TH. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, 44, 892-989.

ZABEK, S. (1991). The effectiveness of the outer ring of double ring infiltrometer. Zeitschrift für kulturtechnik und Landentwicklung. 32 (4), 243-247.

Uso de aguas salinas en el cultivo del tomate

► **M.A. Botella; M. Serrano; A. Amorós**

E.P. Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

► **F.M. Del Amor; V. Martínez, A. Cerdá**

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (C.S.I.C.)

Introducción

El tomate se cultiva en muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, en las que la salinidad es o empieza a ser un problema y está considerado como una planta tolerante a la salinidad, aunque incluso las plantas resistentes a la salinidad, como el tomate, muestran un descenso en los rendimientos cuando se cultivan en condiciones salinas (6 y 7). Sin embargo, las aguas salinas se encuentran disponibles en muchas áreas del mundo, incluyendo las zonas desérticas, por lo tanto es evidente la importancia de establecer sistemas de gestión agrícola que incluyan estas aguas para el riego.

Se han realizado algunos trabajos con tomate controlando y manipulando la disponibilidad de agua y la calidad de la misma para aumentar los azúcares solubles y la concentración de ácidos y, por lo tanto, aumentar las características de calidad del fruto (4, 5 y 12). Sin embargo, desafortunadamente en muchos casos esto va acompañado de menores rendimientos (2).

El tomate es un fruto con una maduración de tipo

climatérico en la que el etileno regula los cambios físico-químicos característicos de la maduración (15). No obstante, más recientemente se han obtenido ciertos cultivares con un patrón de maduración diferente, los denominados “long keeping” o de larga vida, que producen menos cantidad de etileno y en los que el proceso de maduración (más lento que en los cultivares tradicionales) podría estar controlado por el balance hormonal entre etileno, ácido abscísico y poliaminas (8). La aplicación de salinidad puede afectar al balance hormonal del fruto y consecuentemente la calidad y posteriormente la conservación de los mismos.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la salinidad aplicada en diferentes momentos del desarrollo sobre el crecimiento de las plantas, la producción total de frutos comerciales y con blossom and rot (BER), así como la calidad de los tomates comerciales y las alteraciones del balance hormonal en los mismos. Si la sensibilidad a la salinidad está delimitada a un determinado estado de desarrollo, entonces se podrían usar aguas de menor calidad durante los estados más tolerantes.

Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones de cultivo: las plántulas de tomate de la variedad Daniela provenientes de un semillero comercial fueron cultivadas en sacos de perlita de 1.2m de longitud en un invernadero equipado con un sistema de control automático de riego mediante bandejas de demanda, sondas de pH y C.E. Las condiciones ambientales también fueron controladas mediante sondas de temperatura y humedad relativa. La Tª durante el tiempo que duró el experimento se mantuvo entre 20 y 30 °C durante el día y no bajó de 10 °C durante la noche. La HR era 75% durante el día y 50-60% durante la noche.

Las plantas se transplantaron a los sacos de perlita el día 19 de enero de 1998. La solución de riego utilizada tenía la siguiente composición: macronutrientes (mmol L^{-1}): 12 NO_3^- ; 1.5 H_2PO_4^- ; 1 SO_4^{2-} ; 4 Ca, 8 K y micronutrientes (mg L^{-1}): 1 Fe; 0.5 Mn; 0.5 Zn; 0.25 B; 0.02 Cu y 0.01 Mo. El pH era de 5.6. Los tratamientos salinos fueron obtenidos al añadir a esta solución una concentración de NaCl de 20, 40 y 60 mM. Estos tratamientos fueron aplicados en distintas fechas, correspondiendo a distintos estados de desarrollo de las plantas: 16 días después del transplante (DDT, tratamiento inicio), 24 días después del transplante (24 DDT, tratamiento floración, que corresponde a la floración del primer racimo) y 64 días después del transplante (64 DDT, tratamiento engorde). La salinidad se aplicó en varios días para evitar un shock osmótico. Otro tratamiento no recibió salinidad y era considerado el control. Durante el desarrollo del experimento se colocó una colmena de abejorros para mejorar la polinización.

El diseño experimental consistió en dos bloques aleatorios, cada bloque contenía los 10 tratamientos estudiados (un control y tres niveles de salinidad aplicados en tres estados del desarrollo), con 3 sacos de perlita y 6 plantas por saco en cada tratamiento. Se determinó el crecimiento de las plantas midiendo la biomasa de la parte aérea y la longitud del tallo princi-

pal, así como la producción total de frutos comerciales por planta y la incidencia de BER. De todos los frutos comerciales se seleccionaron diez en cada uno de los tratamientos y en esos frutos se determinó el peso, la dureza, el color y los niveles de sólidos solubles y acidez.

Determinaciones analíticas: la dureza se determinó con un penetrómetro de mano, Bertuzzi FT 011, equipado con un punzón de 8 mm de diámetro y los resultados se expresan en N cm^{-2} . El color se determinó con un colorímetro Minolta, expresándolo en coordenadas cartesianas L, a, b. El contenido en sólidos solubles se midió en un refractómetro PZO, modelo RL2 expresando los resultados en grados Brix y la acidez se determinó mediante valoración ácido-base con NaOH 0.1 N hasta pH 8.1, expresando el contenido en ácidos en g de ácido málico por 100 g de peso fresco. El etileno fue determinado por cromatografía gaseosa según Martínez *et al.* (1996).

Resultados y discusión

Crecimiento de las plantas: El efecto de la salinidad sobre el crecimiento de las plantas se realizó midiendo la biomasa total de la parte aérea de la planta y la longitud del tallo principal (Tabla 1). La biomasa de la parte aérea fue afectada significativamente, tanto por el nivel salino como por el momento de salinización, mientras que la longitud total sólo fue afectado significativamente por el nivel salino. La disminución de la biomasa de la parte aérea al final del cultivo presentó variaciones importantes que oscilan entre una disminución del 36% respecto al control para el tratamiento más salino aplicado al inicio del cultivo y hasta del 23% cuando este mismo nivel salino se aplicaba a los 66 DDT. La longitud del tallo principal fue un parámetro menos sensible al efecto de la salinización, presentando una disminución de un 11% y un 8% respecto al control para los tratamientos de 60 mM de NaCl aplicados a los 16 y 66 DDT respectivamente.

Rendimiento de la producción: Los efectos de la salinidad y el momento de aplicación de la misma sobre los parámetros de rendimiento en fruto se muestran en la tabla I. El número total y tamaño de frutos comerciales disminuyeron significativamente al aumentar la concentración salina y dicho efecto fue mayor cuando la salinidad fue aplicada a los 16 DDT que a los 36 ó 66 DDT. Por ejemplo, la reducción en el número de frutos para el tratamiento de 60 mM de NaCl aplicado al inicio era de un 22% mientras que para la aplicación más tardía (66 DDT) fue del 15%. Del mismo modo, la salinidad redujo el peso medio de los frutos comerciales al incrementar el nivel salino en los diferentes momentos en que la sal fue aplicada, de manera que las reducciones en este parámetro fueron de un 36, 35 y 32% respecto al control, de los tratamientos más salinos correspondientes a las aplicaciones de 16, 36 y 66 DDT respectivamente.

Mizrahi *et al.*, (1988) también encuentran que el tamaño del fruto se veía influenciado por el nivel de salinidad. El rendimiento en frutos de la planta de tomate viene determinado tanto por el número de frutos como por el peso de los mismos. Adams y Ho (1989) indican que el número de frutos no fue reducido por la salinidad, y que el descenso en el rendimiento se debió a un menor tamaño de los frutos. Esta reducción del crecimiento inducida por la salinidad podría deberse a una disminución del aporte de agua al fruto durante su desarrollo, más que a un déficit en el aporte de iones minerales, ácidos orgánicos o almidón (10 y 11). La salinidad, al disminuir la cantidad de agua, produce un aumento en la concentración de azúcares y ácidos en el jugo del fruto, lo que contribuye a un mejor sabor (1).

La producción de tomates no comerciales aumentó progresivamente al aumentar la salinidad, siendo la incidencia de frutos con BER significativamente mayor cuando la salinidad se aplicaba a los 36 DDT (Tabla 1).

Efecto de la salinidad sobre los parámetros de calidad

La dureza de los tomates control en el momento de la recolección fue de 7.5 N cm⁻², y también se vio afectada por la salinidad, aumentando proporcionalmente con el nivel de salinidad de la solución de riego. Pero en este caso los efectos fueron más acusados cuando la salinidad se aplicaba en el momento del engorde del fruto que cuando se aplicaba desde la floración o desde el inicio del cultivo (Fig. 1A). Así, por ejemplo, cuando la salinidad se aplicaba en el momento del engorde de los tomates la dureza fue de 7.92 N cm⁻² para el nivel más bajo de salinidad (20 mM NaCl), 8.7 N cm⁻² para el segundo nivel salino (40 mM NaCl) y 9.45 N cm⁻² para el nivel más alto de salinidad (60 mM NaCl), lo que suponía un aumento de la dureza del 8.6, 19.4 y 29.5%, respectivamente.

Este aumento de la dureza podría deberse a que algunos de los cationes aplicados estabilizara las paredes celulares y las hiciera más resistentes a la degradación por el enzima poligalacturonasa, principal responsable del ablandamiento de estos frutos. Sin embargo, otros autores no encuentran diferencias notables en la dureza de los tomates sometidos a distintos tratamientos salinos (12).

El efecto de la salinidad sobre el color fue semejante, encontrándose una coloración roja más intensa en aquellos frutos expuestos a niveles de salinidad más altos, como se desprende de los mayores valores del parámetro *a* del color que presentaban (Fig. 1B), aunque en este caso no pudieron apreciarse diferencias importantes debidas al momento en el que se aplicó la salinidad.

El contenido en sólidos solubles totales en los frutos de tomate en función de los tratamientos aplicados viene representado en la Figura 2A. El efecto general de la salinidad fue aumentar el contenido de sólidos solubles totales en los frutos, aunque para concentraciones de NaCl de 20mM el contenido en sólidos solu-

bles totales no variaba significativamente respecto de los frutos cultivados sin salinidad.

Al pasar el nivel de NaCl de 20 a 40 mM, el contenido en sólidos solubles totales no variaba apenas en frutos tratados 16 DDT, siendo brusco el aumento producido en los frutos tratados 36 y 66 DDT, en los que el valor era similar.

Para concentraciones de NaCl de 60mM sí aumentaba considerablemente este parámetro en los frutos tratados 16 DDT, incrementándose en menor proporción en los tratados 36 DDT. Para este nivel de NaCl se obtiene el máximo valor de sólidos solubles totales en los frutos tratados con salinidad 66 DDT.

Esto puede deberse a que al aumentar la concentración salina del cultivo hidropónico, estamos disminuyendo el potencial hídrico de la solución salina en contacto con las raíces. Esto provoca una disminución del agua absorbida por las raíces y, por tanto, los frutos obtenidos de estas plantas serán tanto más pequeños cuanto mayor sea la salinidad. Parece posible que al disminuir la hidratación de estos frutos, la concentración de los sólidos solubles se incrementa más o menos proporcionalmente a la disminución de la hidratación de los tejidos del fruto.

La acidez del zumo de los frutos se vio incrementada con la aplicación de salinidad (Fig. 2B), siendo menor su valor en aquellos frutos cultivados sin salinidad que en los tratados con NaCl.

El valor de la acidez es máximo para cualquier concentración de NaCl en los frutos tratados 36 DDT, siendo algo inferior en los otros dos momentos del desarrollo.

Para niveles de NaCl de 20 mM la acidez es algo superior a la de los tomates cultivados sin salinidad; al pasar a 40 mM se incrementa un poco dicho valor, siendo más acusado al tratar los tomates con concentraciones de NaCl de 60 mM.

Esto puede deberse, al igual que para los grados Brix, a que al aumentar la salinidad estamos disminuyendo la cantidad de agua absorbida por las raíces, lo que repercute posteriormente en una mayor concentra-

ción de la acidez y grados Brix en los frutos. De hecho el aumento en los sólidos solubles y acidez es similar en ambos casos, si los comparamos entre sí, con respecto a los controles y con respecto a los diferentes tratamiento. También son similares estos resultados, sólo que a la inversa con respecto a la disminución del peso de los frutos en las mismas condiciones.

Producción de etileno de los tomates cultivados en condiciones salinas

El tomate de la variedad Daniela presentó una baja producción de etileno, ya que es un fruto de los denominados de larga duración, como se ha dicho anteriormente. La síntesis de etileno en todos los casos fue bastante baja, sin embargo, al aumentar la concentración salina de la solución nutritiva se produce un aumento en la síntesis de etileno, siendo el desprendimiento de etileno semejante en los diferentes tratamientos según el momento de aplicación de la salinidad. El control presentó un desprendimiento de etileno más bajo que los diferentes tratamientos a excepción del tratamiento con 20 mM de NaCl cuando fue aplicado en el engorde (datos no mostrados).

Las plantas en condiciones de sequía producen más etileno que las no estresada (3 y 9), y también el estrés osmótico tiene efectos estimulantes sobre la síntesis de etileno (14). Por lo tanto, el aumento en la síntesis de etileno en los frutos de tomate al aumentar la salinidad puede deberse a que la salinidad produce un efecto de estrés sobre la planta que provoca un aumento en la síntesis de etileno. El tratamiento salino menor no debe llegar a una concentración mínima como para producir suficiente estrés en la planta para que se produzca un aumento detectable en la síntesis de etileno.

Conclusiones

Podemos concluir que la aplicación de NaCl a una concentración de 20 mM afecta muy poco tanto a las características de la planta como del fruto de tomate,

sin embargo niveles mayores disminuyen la biomasa de la planta y su longitud así como el peso de los frutos y aumentan el color, la dureza los sólidos solubles, la acidez y la producción de etileno. La salinidad también aumenta la producción de tomates no comerciales, en especial por aparición de BER.

La utilización de aguas salinas para el riego del tomate puede ser de utilidad en determinadas zonas, para ello se deben realizar más estudios encaminados a determinar cómo la salinidad afecta a procesos fisiológicos y metabólicos en el fruto que pueden finalmente influir en su calidad.

Bibliografía

- 1.-Adams, P., y L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 64 (6): 725- 732.
- 2.-Aljibury, F.K. y D. May. 1970. Irrigation schedules and production and processing tomatoes on the San Joaquin Valley Westside. *California Agriculture* 24 (8): 10-11.
- 3.-Ben-Yehoshua, S. y B. Aloni. 1974. Effect of water stress on ethylene production by detached leaves of Valencia orange (*Citrus sinensis* Osbeck). *Plant Physiology*, 53: 863-865.
- 4.-Ehret, D.L. y L. C. Ho. 1986. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes in nutrient film culture. *HortScience*. 61 (3):361-367.
- 5.-Ho, L.C., R.I. Grange, y A.J. Picken. 1987. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. *Plant Cell & Environment* 10: 157-162.
- 6.-Maas, E.V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water, p, 273-299. En: D. Pasternak y A. San Pietro (eds.). *Developments in plant and soil sciences*, Vol. 17. Martinus Nijhoff, Dordrech, The Netherlands.
- 7.-Mass, E.V. y G.J. Hoffman. 1977 Crop salt tolerance-current assesment. *J. Irr. Drainage Div. ASCE* 103: 115-134.
- 8.-Martínez-Madrid, M.C., M. Serrano, F. Riquelme, y F. Romojaro. 1996. Polyamines, abscisic acid and ethylene production in tomato fruit. *Phytochemistry*, 43 (2): 323-326.
- 9.-McMichael, B.L., W.R. Jordan y R.D. Powell. 1972. An effect of water stress on ethylene production by intact cotton petioles. *Plant Physiology* 49: 658-660.
- 10.-Mitchell, J.P., C. Shennan, S.R. Grattan, y D.M. May. 1991a. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal American Society of Horticultural Science* 116 (2): 215-221.
- 11.-Mitchell, J.P., C. Shennan, y S.R. Grattan. 1991b. Developmental changes in tomato fruit composition in response to water deficit and salinity. *Physiologia Plantarum* 83: 177-185.
- 12.-Mizrahi, Y., E. Taliesnik, V. Kagan-Zur, Y. Zohar, R. Offenbach, E. Mattan, y R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *Journal American Society of Horticultural Science* 113 (2): 202-205.
- 13.-Pretel, M.T., M. Serrano, A. Amorós, F. Riquelme, y F. Romojaro. 1995 Non-involvement of ACC and ACC-oxidase activity in pepper fruit ripening. *Postharvest Biology & Technology*, 5: 295-302.
- 14.-Sivakumaran, S. y M.A. Hall. 1978. Effect of osmotic stress upon endogenous hormone levels in *Euphorbia lathris* L. and *Vicia faba* L. *Annals of Botany* 42: 1403-1411.
- 15.-Yang, S.F. y N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review. of Plant Physiology*, 35: 155-189.

Tabla 1

Efecto de la salinidad y momento de aplicación sobre el crecimiento de la planta, la producción de frutos comerciales y la aparición de frutos con BER

| Tratamiento | | Crecimiento planta | | Producción de frutos comerciales | | | BER |
|-------------------|---------------------|--|-----------------|----------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
| DDT | Salinidad (NaCl) | Biomasa (g) | Longitud (m) | Nº frutos /planta | Peso (g) | Kg frutos /planta | Nº frutos /planta |
| | Control | 2555 | 2.63 | 68 | 123 | 8.40 | 5.53 |
| 16 | 20 mM | 2293 | 2.54 | 69 | 109 | 7.52 | 7.50 |
| | 40 mM | 2020 | 2.49 | 52 | 97 | 5.04 | 10.17 |
| | 60 mM | 1640 | 2.35 | 53 | 79 | 4.28 | 10.85 |
| 36 | 20 mM | 2001 | 2.60 | 72 | 110 | 7.93 | 9.43 |
| | 40 mM | 2271 | 2.52 | 65 | 85 | 5.50 | 9.48 |
| | 60 mM | 1672 | 2.39 | 58 | 80 | 4.62 | 12.35 |
| 66 | 20 mM | 2639 | 2.51 | 75 | 107 | 8.03 | 8.83 |
| | 40 mM | 2060 | 2.38 | 66 | 94 | 6.24 | 9.21 |
| | 60 mM | 1975 | 2.41 | 60 | 84 | 5.01 | 9.70 |
| Factores | | Análisis de la varianza (valores de F) | | | | | |
| Salinidad | | 18.5*** | 7.4** | 10.1*** | 27.6*** | 84.7*** | 4.9* |
| Tiempo | | 4.6* | 1.2 ns | 2.8 ns | 0.8 ns | 7.8** | 2.7 ns |
| Salinid. x tiempo | | 1.1 ns | 0.7 ns | 0.6 ns | 1.0 ns | 0.8 ns | 2.5 ns |

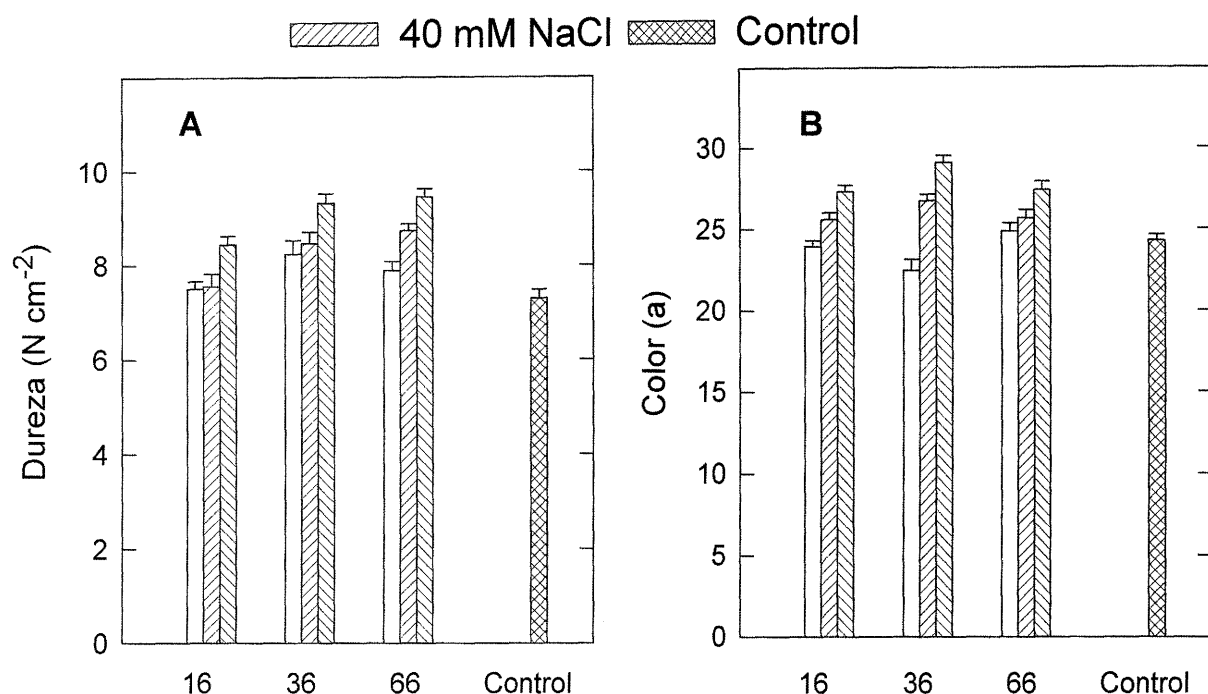


Figura 1. Influencia de la salinidad y del momento de aplicación sobre la dureza (A) y el color (B) de los tomates.

Figura 1: Influencia de la salinidad y del momento de aplicación sobre la dureza (A) y el color (B) de los tomates.

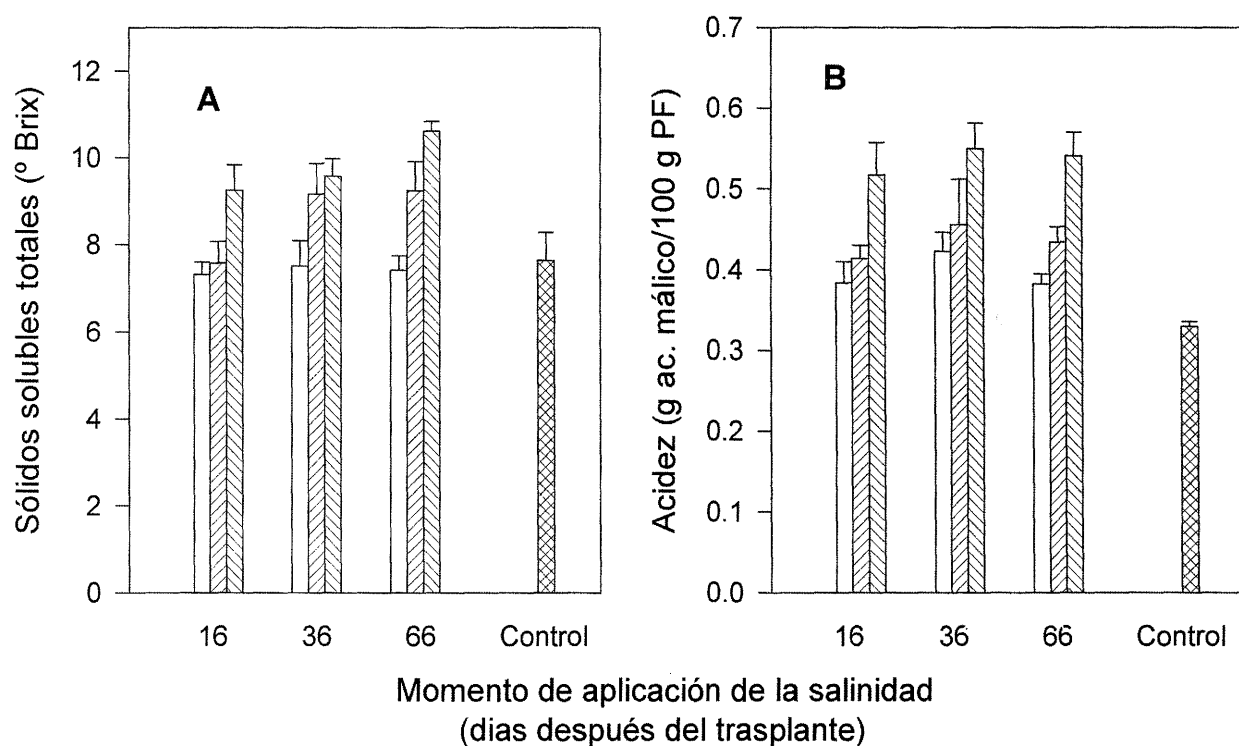


Figura 2. Influencia de la salinidad y momento de aplicación sobre el nivel de sólidos solubles (A) y de la acidez (B) en los tomates.

El futuro de la desalación de aguas en España

📖 **Melchor Senent Alonso**

Dr. Ingeniero de Minas. Profesor Titular de la Universidad. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

📖 **David Martínez Vicente**

Ingeniero Agrónomo. Alumno de doctorado. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

📖 **Juan Manuel Cortejosa Olivo**

Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

Resumen

La desalación se está convirtiendo en una solución viable para muchos problemas de escasez de agua. El futuro de la desalación es francamente atractivo, si se tiene en cuenta el descenso del coste de las plantas desaladoras de Ósmosis Inversa (O.I.) que recientemente se han adjudicado en EE.UU. (Florida y San Diego). El coste de desalación de O.I. se sitúa en unas 80 pts/m³, lo que parece muy competitivo para abastecimiento a la población, a la industria y al turismo, sin embargo, no lo es tanto para usos agrícolas, salvo que se concedan ayudas estatales que puedan disminuir los costes de amortización y se aplique a cultivos de gran rentabilidad.

Summary

Desalination is enhancing a viable solution to several water scarcity problems. The future of desalination is honestly attractive, if we take into account the reduction of the desalination plants cost that recently have been assigned in the USA (Florida and San Diego).

Desalination costs have been fixed on about 80 pts/m³ (≈ 0,46 \$US), what seems to be competitive for population water supply, factories and tourism. Nevertheless, the price is not competitive for agricultural uses, unless Governments give economic support in order to reduce amortization costs in crops of great profitability.

El problema del agua en España

España es un país muy diverso, y lo es también desde una perspectiva hidrológica. La política hidráulica española, con independencia del partido político en el poder, ha venido impuesta por dos condicionantes hidrológicos principales:

- a) La irregularidad en el tiempo, que es necesario combatir mejorando la regulación (construcción de presas, recarga artificial de acuíferos, uso conjunto aguas superficiales y subterráneas).
- b) La irregularidad en el espacio, que ha de ser resuelta mediante trasvases entre cuencas.

La dificultad cada vez mayor de aplicar una políti-

ca de solidaridad interregional entre las diferentes autonomías impide realizar los imprescindibles trasvases que requiere la redistribución del recurso y obliga a aplicar otros métodos, menos eficaces, pero más viables desde un punto de vista social. Entre ellos y tal vez el más interesante, por los motivos que expondremos más adelante, es el de la desalación.

En la España insular la escasez de recursos hídricos y la imposibilidad de acudir a la solución de trasvases ha hecho necesario contemplar otros procesos: disminuir el consumo, reutilizar las aguas residuales y el uso de las tecnologías de la desalación.

España, es el país más árido de la Unión Europea. Este hecho puede ser determinante para nuestro país, que posee un clima seco y soleado, imprescindible para el sector turístico y además para el agrario. España está llamada, especialmente el denominado “arco mediterráneo”, a jugar en la U.E. un papel similar al de California en los EE.UU.

En los últimos años se viene insistiendo que en las próximas décadas se va a producir un sensible incre-

mento de los problemas relacionados con la escasez y/o contaminación del agua, hasta el punto de poderse hablar de una CRISIS DEL AGUA, como se habló de la crisis del petróleo en la década de los setenta.

Este planteamiento global, en el ámbito de todo el territorio español, requiere determinar cuales son aquellas zonas más sensibles a esa crisis del agua que se vislumbra en un horizonte próximo. Para ello, puede ser interesante determinar cual es la distribución de nuestros recursos hídricos naturales por habitante según datos de 1992 (Tabla 1).

En consecuencia, de acuerdo con esta clasificación de las cuencas españolas, se confirma que la problemática hídrica española se centra en el litoral mediterráneo, sur de la península y España insular.

Otra forma de determinar las “zonas críticas” o de escasez de recursos, es referirse a lo que a este respecto dice el Libro Blanco del Agua en sus páginas 488 y siguientes. “El mapa de déficit muestra que éstos se localizan fundamentalmente en el Segura, cabecera del Guadiana, Vinalopó-Alacantí y Marina Baja en el

Tabla 1

| CUENCA | POBLACIÓN (hm ³ /año) | RECURSOS NATURALES | |
|--------------------|-------------------------------------|---|---|
| | | TOTALES (m ³ /hab. y año) | PER CAPITAL (m ³ /hab. y año) |
| Pirineo (Cataluña) | 5,85 | 2.780 | 475 |
| Islas Canarias | 1,33 | 965 | 726 |
| Segura | 1,31 | 1.000 | 763 |
| Júcar | 3,99 | 4.142 | 1.038 |
| Islas Baleares | 0,63 | 745 | 1.183 |
| Sur | 1,98 | 2.418 | 1.221 |
| Guadalquivir | 4,68 | 7.771 | 1.660 |
| Tajo | 6,03 | 12.858 | 2.132 |
| Guadiana | 1,64 | 6.165 | 3.759 |
| Norte | 6,56 | 42.088 | 6.416 |
| Ebro | 2,75 | 18.198 | 6.617 |
| Duero | 2,25 | 15.168 | 6.741 |
| TOTAL ESPAÑA | 39,00 | 114.298 | 2.931 |

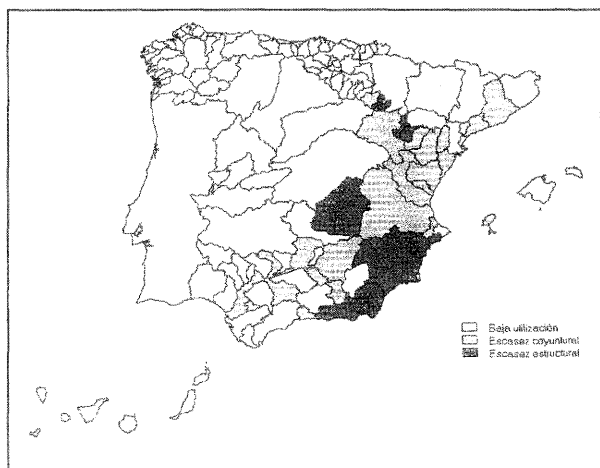


Figura 1. Mapa de riesgo de escasez en los sistemas de explotación.

Júcar, zona oriental de la cuenca del Sur (sistemas de Sierra Filabres-Estancias, Sierra Gador-Filabres y Sierra Nevada), junto con otros sistemas de menor extensión en la margen derecha del Ebro (Huerva, Aguas Vivas, Huecha y Queiles). Ahora bien, a pesar de que todos estos sistemas son deficitarios, la magnitud de los problemas es, obviamente, muy distinta, y no es comparable el déficit de los sistemas de la margen derecha del Ebro, de mucha importancia local, con el de la cabecera del Guadiana o el del conjunto formado por los sistemas meridionales del Júcar, el Segura y los sistemas orientales del Sur, con un impacto territorial y dimensión notablemente superior.

En la Figura 1 puede apreciarse que los sistemas deficitarios padecen una escasez de tipo estructural, es decir, el recurso potencial, incluyendo reutilización, desalación y transferencias, es sistemáticamente inferior al nivel de consumo que se pretende alcanzar. Pero existe, además, un conjunto de sistemas que, aun presentando superávit, corren el riesgo de sufrir una escasez de carácter coyuntural, debido a que sus niveles de consumo se hallan relativamente próximos al recurso potencial. En tales condiciones, secuencias hidrológicas adversas podrían dar lugar a problemas de suministro por insuficiencia de recursos. Estas situaciones de escasez coyuntural se presentan en Hoya de Guadix, Jaén y sistema de regulación general del Guadalquivir, Sierra Tejada-Almijara en el Sur, la práctica

totalidad del Júcar, si se exceptúa la Marina Alta y los sistemas con escasez estructural (Vinalopó-Alacantí y Marina Baja), Alhama, Jálón, Martín, Guadalupe y Matarraña en la margen derecha del Ebro, sistemas Centro y Sur de Cataluña y en las islas de Ibiza, Tenerife y Gran Canaria.

Como puede apreciarse, una parte importante de los sistemas de explotación de la mitad suroriental de la península, junto con algunos sistemas de la margen derecha tienen un carácter temporal, y están generalmente asociados a rachas hidrológicas adversas, de tal modo que en condiciones de normalidad hidrológica no se presentarían problemas graves. De hecho, debe recordarse que estos sistemas, aun estando sometidos coyunturalmente a un riesgo de escasez, presentan, en términos medios, un superávit de mayor o menor cuantía. En las situaciones de escasez estructural, por el contrario, los sistemas son permanentemente incapaces de atender sus consumos, y la insuficiencia de recursos, incluso en el supuesto de aprovechamiento exhaustivo, constituye un problema crónico.

En estas circunstancias, y considerando que el balance se realiza con la fracción consuntiva de la demanda total, si se pretende alcanzar la razonable satisfacción de las demandas actuales, la solución para corregir tales descompensaciones sólo puede preceder del incremento de la aportación de recursos externos, procedentes del mar mediante desalación, o de otros sistemas no sometidos a dicho riesgo y con bajo nivel de utilización de su potencial de recursos" (Trasvases).

La desalación como solución a muchos problemas de insuficiencia de recursos hídricos

Para responder a este epígrafe se cree conveniente transcribir lo que en relación con la desalación se dice en el Libro Blanco del Agua.

"Otra técnica de incremento de las disponibilidades tradicionalmente considerada como no convencional es la de la desalación del agua, consistente, como su nombre indica, en tratar aguas saladas o salobres

procedentes del mar o de acuíferos salinos, y, quitándoles las sales, transformarlas en aguas aptas para usos como el de abastecimiento a poblaciones o los riegos”.

En España se ha venido utilizando la desalación de agua de mar desde el año 1969 para los abastecimientos urbanos de Ceuta, Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria, que tienen en común la escasa disponibilidad de recursos hídricos.

En todos estos casos la desalación se reveló como la mejor solución -y en algunos de ellos como la única- al problema del déficit en el abastecimiento urbano. Otras soluciones estudiadas (transporte de agua en barcos o incremento artificial de precipitaciones) se abandonaron en su momento por considerarse inviables técnica o económicamente.

Las primeras tecnologías que se implantaron fueron las de destilación, en sus variantes de multietapa (MSF) y compresión de vapor (VC), para las que los consumos energéticos eran muy elevados entre 15 y 18 kwh/m³-, siendo ésta la causa principal del muy alto coste del agua desalada, superior a 200 pta/m³. El desarrollo y entrada en el mercado de otras tecnologías más eficientes, como la ósmosis inversa (con un consumo total del orden de 5 kwh/m³ según los últi-

mos proyectos llevados a cabo), junto con el descenso del coste de la energía, han rebajado sensiblemente este coste del agua desalada hasta cifras inferiores a las 100 pta/m³, y en una tendencia reciente claramente favorable.

Así, cabe citar cómo en las últimas evaluaciones realizadas con motivo de la construcción de nuevas instalaciones, se ha bajado ya de la cifra de 100 pts/m³, incluyendo en ella la parte correspondiente a la amortización íntegra de la inversión a realizar. Son cifras aún muy elevadas, que no permiten su uso exclusivo para el regadío, pero que, en algunos casos de gran escasez o ausencia de fuentes alternativas, podrían asumirse para el abastecimiento a poblaciones.

La Figura 2 muestra una estimación de los costes totales actuales de la desalación de agua del mar por ósmosis inversa, en función de la producción de la planta, bajo el supuesto de amortización de la inversión en 15 años al 5% de interés, valor residual nulo, y precio de la energía de 7 pta/kwh.

Como puede verse, la componente fundamental del coste es la de operación y mantenimiento (del orden del doble que la amortización), y de ésta, entre el 50 y

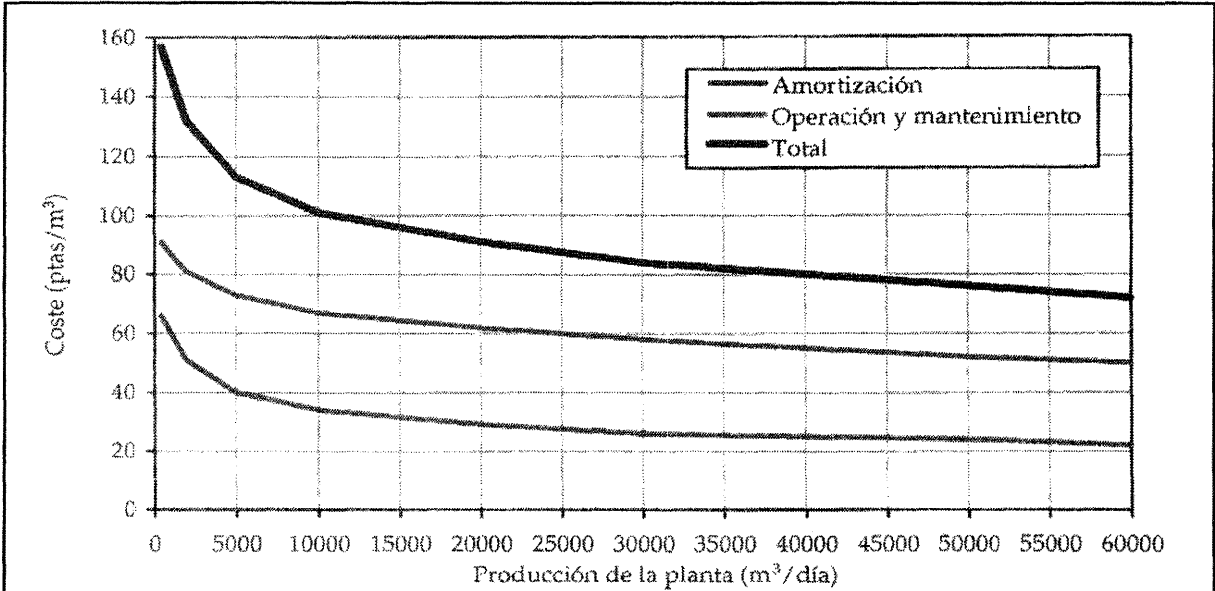


Figura 2. Costes de desalación de agua del mar según la producción de la planta.

el 80% corresponde estrictamente al consumo energético.

A estos costes de producción, a pie de planta, habría que añadir en todo caso los de transporte desde la planta hasta el área de consumo, que serían las balsas de cabecera en el caso de los regadíos, o los depósitos municipales en el caso de abastecimiento a poblaciones.

Cifándonos al transporte del agua desalada desde la planta productora hasta los depósitos en alta, los costes de este transporte han de incluir los correspondientes a la amortización de la inversión de la infraestructura de transporte (tubería, equipo de bombeo, balsa de regulación para incidencias), y los de operación (básicamente consumo de energía para el bombeo) y mantenimiento. Todos estos costes son parametrizables en función de tres variables básicas que son la producción de la planta (indicativa del caudal a transportar y la regulación requerida), la distancia al mar (indicativa de la longitud del transporte), y la cota del punto de consumo (indicativa del equipo de bombeo y del coste energético). Introduciendo estas variables en un modelo cartográfico pueden calcularse espacialmente los costes indicados.

En efecto, la Figura 3 muestra una estimación —obtenida mediante modelación cartográfica— del coste total de producir y llevar agua desalada a cualquier punto del territorio. El agua procedería de una planta de 10.000 m³/día (consumo correspondiente a una población de unos 30.000 hab) y las condiciones supuestas han sido, como antes se indicó, de amortización en 15 años al 5% de interés, y coste energético de 7 pts/kwh.

Como cabía esperar, el mapa obtenido está fuertemente relacionado con el de las distancias al mar, pero controlado por efectos debidos al relieve. Es evidente que estos resultados son simplificados y meramente indicativos, pero, pese a su simplificación, proporcionan una primera idea aproximada de lo que supondría, en términos económicos, satisfacer las necesidades de una población de tamaño pequeño-medio, mediante

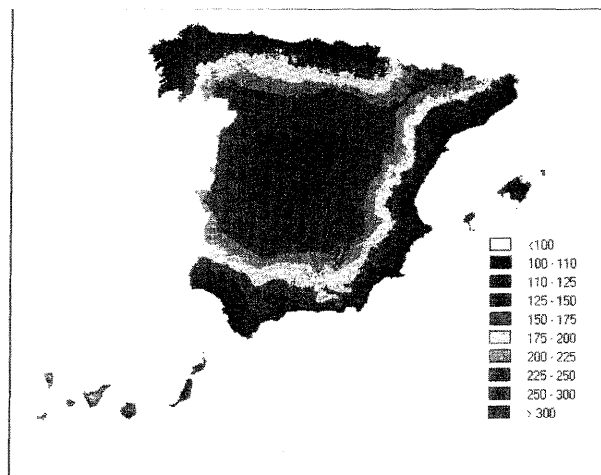


Figura 3. Mapa de costes totales de suministro (producción y transporte) de 10.000 m³/día de agua desalada (ptas/m³).

agua del mar desalada. Como se observa, y con carácter general, sólo las poblaciones relativamente próximas a la costa —a menos de unos 50 km— podrían tener costes inferiores a las 150 pta/m³, mientras que a partir de los 150 km los costes se elevan, superando las 200 pta/m³.

La conclusión final es que, como se apuntó, la desalación de agua del mar puede jugar un papel significativo en el suministro urbano de poblaciones costeras, pero de forma puntual y selectiva dado que sus costes actuales, aunque claramente a la baja en los últimos años, aún se encuentran generalmente lejos de los de otras posibles fuentes alternativas convencionales de suministro. Para los regadíos, estas aguas se encuentran claramente a niveles de coste prohibitivos salvo en situaciones puntuales de muy grave escasez, producciones de alta rentabilidad, y disponibilidad de otras aguas a coste inferior para su mezcla.

En lo relativo al agua salobre, los costes de producción y transporte son apreciablemente inferiores, pero presentan los problemas de su posible agotamiento y cambios de características (es decir, del mantenimiento de su disponibilidad cuantitativa y cualitativa), y de la evacuación de las salmueras generadas en el proceso. Por ello, el estudio de su viabilidad y costes requiere análisis pormenorizados en cada caso concreto.

En conjunto, la desalación de agua de mar y salo-

bre supone actualmente una aportación al ciclo hidrológico de unos 222 hm³/año, lo que coloca a España en el primer lugar de Europa, con un 30% del conjunto instalado en todo el continente. Esta producción se distribuye por usos como muestra la Tabla2.

Tabla 2

Distribución por usos de las aguas desaladas marinas y salobres

| | | | |
|--------------|------------------------|----|----------------------|
| Agua de mar | Uso urbano | 90 | hm ³ /año |
| | Uso agrícola | 5 | hm ³ /año |
| Agua salobre | Uso urbano y turístico | 29 | hm ³ /año |
| | Uso industrial | 40 | hm ³ /año |
| | Uso agrícola | 58 | hm ³ /año |

Están en marcha, además, importantes iniciativas (como las dos plantas de agua del mar previstas por la Mancomunidad de Canales del Taibilla, con 40 hm³/año para abastecimientos en las cuencas del Segura y Júcar, o la planta de agua del mar para redotación de riegos en el Campo de Cartagena, con producción de 20 hm³/año), que, como veremos, incrementarán a corto plazo estas cifras actuales de forma muy significativa.

La oportunidad del negocio de la desalación

Una vez más, se ha cumplido la antigua ley económica según la cual donde hay una necesidad humana hay un buen negocio. Sin duda alguna, la necesidad de agua va a ser la causa de uno de los más interesantes negocios de los próximos años. Está por tanto justificada la necesidad de aprovechar las tecnologías de la desalación y su empleo en la aportación de nuevos recursos.

El 97% del agua existente sobre la superficie de la Tierra se encuentra en los océanos, o es salobre; así pues, parece lógico pensar en utilizar estas inmensas reservas mediante el uso de las tecnologías de desalación.

La desalación es cara y por lo tanto es el último recurso cuando entra en competencia con aguas de otros orígenes. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de los últimos años ha permitido un descenso continuado de los costes de producción del agua desalada y frente a esta circunstancia se ha producido paralelamente un progresivo y espectacular aumento del precio del agua en lo que podríamos llamar “mercado del agua”. En la actualidad, puede afirmarse que el problema del agua ya no es tanto de escasez como de naturaleza económica.

En la actualidad, la viabilidad económica de la desalación se debe a una serie de circunstancias concatenadas que podrían definirse de la siguiente manera:

- a) Demandas de agua no satisfechas.
- Esta situación es muy evidente en la costa mediterránea y las Islas Canarias e Islas Baleares. En estos casos es especialmente interesante los abastecimientos de población (núcleos urbanos y urbanizaciones) y la agricultura intensiva de amplias zonas de las provincias de Murcia, Alicante y Almería.
- b) Tendencia a la baja del coste de la desalación.
- Esta tendencia se está produciendo tanto para aguas salobres como para aguas marinas.
- El progreso de las técnicas de desalación se ha debido a la investigación de los materiales, métodos y sistemas cuya combinación ha dado lugar a instalaciones de bajo consumo de energía y alta eficiencia. Desde las membranas de acetato de celulosa, cuya presión de funcionamiento era de 32 kg/cm², hasta las que en la actualidad se utilizan de poliamida aromática, que pueden funcionar a 14 kg/cm², hay un evidente progreso en cuanto al ahorro energético. Sin embargo, se puede afirmar que aún no se ha alcanzado la membrana de mínimo consumo energético. El desarrollo en este campo es tan acelerado que no sería extraño que en poco tiempo se disponga de membranas que funcionen a presiones del entorno de las 10 atm.

La disminución de los costes energéticos en los procesos de desalación de aguas es un reto al que, hoy en día, se le está haciendo cara mediante el progreso tecnológico. La mejora de las eficiencias energéticas en los procesos industriales, la reutilización de energías secundarias, que hasta hace poco se estaban perdiendo; la combustión de residuos urbanos; la producción dual y la cogeneración abren un interesante abanico de expectativas para reducir aquellos costos.

Los costes presentados en el Libro Blanco están ajustados a la realidad actual, pero cabe hacer algunas "economías" en algunos componentes de coste, como es entre otros el energético (posibilidad de pactar con las compañías eléctricas un precio del kwh más bajo, dada la liberalización del mercado y la fuerte competencia actual), el de personal y de mantenimiento. Estos ajustes en los costes pueden llegar hasta el 20% del coste total.

c) Precio del agua en alza.

La escasez de recursos hídricos y la alta rentabilidad de algunos cultivos (hortalizas y cítricos) en algunas zonas del país, donde se dispone de magnífico clima, hace que el coste del agua se dispare.

Es frecuente que aguas subterráneas con 2-4 g/l de T.S.D. se vendan en el Campo de Cartagena a precios superiores a las 60 ptas/m³. Situaciones similares se dan en la comarca Mazarrón-Águilas, Campo de Elche, Campo de Dalías, etc.

d) Financiación de la Administración.

Las posibilidades de ayudas a la financiación de plantas desaladoras tienen su antecedente legal en el artículo 102 de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. De acuerdo con esta norma, se determinarán reglamentariamente las ayudas a quienes procedan a la desalinización de aguas.

En la Región de Murcia cabe solicitar ayudas de carácter público al amparo de lo establecido en el Real Decreto 1887/92 y sus modificaciones. Según esta norma, los agricultores a título principal pueden

obtener una ayuda de hasta el 45% de la inversión; ayuda que incluye subvención directa más bonificación de intereses, más minoración de anualidades del pago de los préstamos necesarios para la adquisición de plantas desalinizadoras. El límite de la inversión es actualmente de 29 millones de pesetas y se requiere un estudio de viabilidad de la misma y tener solucionado el problema de evacuación de salmueras.

Además, el Decreto 51/92, de 21 de mayo, de la Presidencia de la Comunidad Autónoma, por el que se regula el sistema de ayudas para mejora de la explotación y conservación de los recursos hídricos de uso agrícola en la Región de Murcia, permite que las comunidades de regantes puedan acceder a ayudas para este tipo de proyectos con cuantía máxima del 40% de su presupuesto. El Real Decreto 678/93, de 7 de mayo, prevé ayudas para las comunidades de regantes que promuevan proyectos de plantas desalinizadoras. Ayudas cuya simultaneidad con las mencionadas anteriormente es objeto de discusión.

Actualmente, y posiblemente sólo para el 2000 existe la posibilidad de obtener una "subvención" del 50% de la inversión en la planta desaladora a través del Ministerio de Medio Ambiente. Éstas ayudas se otorgan en base a la Ley 13/96, de 30 de diciembre, sobre medidas fiscales, administrativas y de orden social, de acompañamiento a la Ley de presupuestos del Estado, que versa casi en su totalidad sobre la creación de las sociedades para la construcción y explotación de carreteras estatales; si bien en el apartado 5º del artículo 158 se dice: "la autorización prevista en el apartado 1 se extiende igualmente a la constitución de sociedades estatales que tengan por objeto la construcción, explotación o ejecución de obra pública hidráulica". Esta legislación abre unas expectativas muy interesantes para la financiación de las desaladoras.

En base a todo lo anteriormente dicho, podemos afirmar que la oportunidad del negocio de la desalación se encuentra en la CONSTRUCCIÓN "llave en mano" Y GESTIÓN DE LAS DESALADORAS,

resolviendo así las dificultades de la gestión propia; es decir, la gestión directa por los usuarios de la planta desaladora. En todos los casos, tanto de abastecimiento humano como de regadío, los usuarios prefieren generalmente desentenderse de los problemas financieros, de gestión administrativa, de mantenimiento, etc., y pactar un precio del m³ de agua, por un volumen de agua anual y durante un periodo determinado de años.

***El futuro del coste del agua desalinizada.
¿La ósmosis inversa rompe la barrera económica
de la desalación de agua de mar?***

El 29 de marzo de 1991, el organismo denominado “California Coastal Commission” (EE.UU.) informó que el precio de obtención de nuevos aportes de agua dulce, excluidos los sistemas de desalación, para la

zona de San Diego (EEUU) oscilaban entre 73,5 a 90 pts/m³ (1 dólar = 150 pts). En otras palabras, si la desalación de agua de mar quiere ser competitiva frente a otras fuentes de obtención de agua dulce (transvases, etc.), deberá circunscribir sus costes de producción del m³ de agua al rango marcado anteriormente, o incluso bajarlo en la medida de lo posible.

Cuando se marcó este rango de costes, durante el Simposio de San Diego, organizado entre otros por el IDA, en 1991, la consecución de estos objetivos por los sistemas de desalación de agua de mar comercialmente utilizados parecía ser una auténtica utopía, puesto que los costes del m³ de agua desalada oscilaron entre 160-190 pts.

Esta barrera fue literalmente rota el 3 de diciembre de 1997, cuando cinco cualificadas empresas presentaron sus propuestas para la instalación de una planta desaladora de agua de mar para la obtención de agua

Tabla 4.
***Costes de capital y precio de venta del agua (al organismo de gestión de la misma), para una planta
con una capacidad de 75.700 m³/d. (considerando 1 dólar = 150 pts)***

| Empresa | Dupont-US Water | Enova Supersystems | Pearsons-IDE | Progress-Ionics | Stone & Webster TIC- Citizens |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| Sistema | RO | MED | RO-VC | RO | RO |
| Costes de Capital (Mill. pts) | 11.790 | 27.915 | 13.770 | 10.395 | 13.980 |
| Costes de Capital (pts/m³/d) | 155.730 | 368.521 | 181.883 | 137.106 | 184.657 |
| Precio del agua (pts/m³) | 110,9 | 231,8 | 126,0 | 90,7 | 114,9 |
| Idem, para 87.055 m³/d | | | | 84,0 | |
| Precio del agua (pts/m³)* | 79,3 | | 96,7 | | 86,4 |
| Idem, para 87.055 m³/d* | | | | 61,0 | |

*Datos en el supuesto de una subvención de 7.500 millones de pts por parte de "Southwest Florida Water Management District".

potable en la zona de Florida (EE.UU.), de una capacidad de producción entre 76.000 y 189.000 m³/d. Las evaluaciones más recientes de las propuestas realizadas muestran el significativo descenso de los precios del m³/d de agua desalada, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3
Precio del agua desalada según la capacidad de planta
(considerando 1 dólar = 150 pts).

| | | | |
|--|--------|---------|---------|
| Capacidad de Planta (m ³ /d) | 76.000 | 132.500 | 189.000 |
| Precio del agua (pts/m ³) | 91,5 | 85,5 | 81,0 |

Estos serían los precios a los que las empresas venderían el agua, es de suponer que el precio de coste real, una vez descontadas las ganancias (^a30%), para una planta de 76.000 m³/d se situaría en torno a las 60 pts/m³. Las plantas serían propiedad de las empresas constructoras que se comprometerían a su gestión, siempre que se le ofrecieran garantías financieras en la zona y el compromiso de compra del agua a los precios estipulados durante determinados períodos de tiempo. Por otro lado, estos precios podrían bajar todavía algo más si se ofrecen subvenciones de algún tipo en los costes de capital de inversión inicial en la construcción de la planta.

La planta desaladora de Florida (EE.UU.) como ejemplo del descenso de los costes de desalación de agua de mar.

La siguiente información ha sido suministrada por la organización “West Coast Regional Water Supply Authority”, que es el organismo responsable del suministro de agua potable en Florida (St. Petersburg, Tampa, New Port Richey, etc.). Suministran agua potable a una población total de 1,8 millones de personas. Este organismo ha trazado un plan para aumentar sus recursos de agua potable para los próximos 6 años en 190.000 m³/d. Para ello, han planteado un concurso público para la presenta-

ción de proyectos de plantas desaladoras de agua de mar, de entre las cuales en Diciembre de 1997 seleccionaron a cinco: Dupont-Us Water, Enova-Supersystems, Pearson-Ide, Progress- Ionics y Stone & Webster-Tic-Citizens. En la Tabla 4, se pueden observar alguno de los datos preliminares de las ofertas, cabe destacar que las que ofertan el agua potable a mayor precio son precisamente las que incluyen sistemas evaporativos.

Estos precios no necesariamente representan las opciones más bajas de coste del metro cúbico de agua, ya que incluyen el porcentaje de ganancias lógico en todo proceso comercial.

Como se puede observar los precios del m³ de agua son significativamente diferentes según las distintas empresas constructoras. Aunque es obvio que los diferentes precios no se pueden comparar directamente sin otras aclaraciones posteriores, sí parece paradójico esta disparidad de precios, sobre todo teniendo en cuenta que el precio final del agua será un criterio primario en la elección final.

La ventaja del sistema de licitación puesto en marcha por “the Southwest Florida Water Management District” y “the West Coast Regional Water Supply Authority”, es que plantea un esquema muy útil para el órgano de decisión sobre las tecnologías idóneas para la desalación de agua de mar y sus costes, y este esquema es aplicable en cualquier parte del mundo donde los sistemas de desalación puedan ser aplicables.

En este momento se puede plantear la siguiente cuestión: ¿Hasta qué punto es aplicable a la situación española los datos de la planta desaladora de Florida? Esta cuestión la está resolviendo el propio mercado de la desalación en España, donde se observa una rápida aproximación a estos precios del m³ de agua desalada de mar.

¿Cuál puede ser el futuro de la desalación?

Ya no cabe la menor duda que el mercado de las plantas desaladoras de agua de mar para el abasteci-

miento de agua potable crecerá significativamente en los próximos años.

Aunque van a ser las condiciones del mercado local las que van a determinar cual es el sistema tecnológico idóneo para cada zona, parece cada vez más claro que el descenso de los costes de planta por unidad de producción en las plantas de ósmosis inversa (en torno a las 100.000-120.000 pts/m³), así como los menores costes de producción del agua dulce, van a provocar la mayor implantación a escala mundial de este sistema de membranas frente a los sistemas evaporativos. No obstante, ambas tecnologías continuarán su crecimiento en los próximos años, si bien es posible que la com-

binación de ambas junto con la generación de energía eléctrica, de acuerdo con las empresas distribuidoras de esta, sea la solución idónea.

En cuanto a su utilización en riego, la solución definitiva y real a largo plazo pasa por la buena gestión de los recursos actuales, debido al incremento de coste que supone la desalación. No obstante, en zonas con déficit hídrico estructural, como es el caso del Sudeste de España, y en general de la cuenca mediterránea, los sistemas de desalación de agua de mar, y en concreto la ósmosis inversa, se nos presenta como una alternativa técnicamente viable y cada día más competitiva económicamente.

Los costes de la desalación del agua de mar

David Martínez Vicente

Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

Melchor Senent Alonso

Dr. Ingeniero de Minas. Profesor Titular de la Universidad. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

Juan Manuel Cortejosa Olivo

Ingeniero Agrónomo. Departamento de Ecología e Hidrología. Campus de Espinardo. U. de Murcia

Resumen

La desalación de agua de mar se está convirtiendo en una solución viable para muchos problemas de escasez de agua, debido al descenso del coste de las plantas desaladoras. Sin embargo, se hace necesario saber cual es el coste final del agua desalada para poder valorar si su producción es o no rentable para cada uso. En esta comunicación se realiza un estudio actualizado de los costes de desalación de agua de mar para un amplio rango de producciones de planta.

Summary

Desalination is becoming a viable solution to several water scarcity problems, due to the desalination plants' cost reduction. However, it becomes essential to know in detail the final desalted water cost, in order to value its profitability applied to different uses. In the present communication we have analyzed up-to-date sea water desalination costs for a wide range of plant productions.

Metodología para el cálculo de costes

En la desalación de agua de mar pueden diferenciarse dos tipos principales de plantas: las pequeñas plantas que intentan resolver específica y cuantitativamente poco importantes problemas (plantas instaladas en barcos, abastecimiento de hoteles y urbanizaciones costeras, etc.) y grandes plantas (capacidad $\geq 10.000 \text{ m}^3/\text{día}$) construidas para resolver importantes problemas de abastecimiento a poblaciones o de regadío, que requieren disponer de toma de agua de mar y/o fuerte pretratamiento antes de que sea tratada por la planta en s.str. y de embalses de regulación, sistemas de elevación y transporte de tubería para que el agua pueda ser utilizada en el lugar deseado.

Consideraremos aquí una gran planta de desalación de agua de mar por Ósmosis Inversa y descartaremos aquellas plantas de O.I. pequeñas que no disponen de los elementos que consideramos a continuación:

1. TOMA DEL AGUA DE MAR.

2. PRETRATAMIENTOS.

3. PLANTA DESALINIZADORA, s.str.

4. EMBALSES DE REGULACIÓN.

Este esquema es el representativo de las denominadas grandes plantas y muestra la forma en que se descomponen. Consideraremos cada una de ellas como unidades de obra principales, que, a su vez, se descomponen en varias subunidades de obra. Estudiaremos y analizaremos la estructura de costes de cada una de las unidades y subunidades de obra. Cada unidad exigirá el estudio de la inversión total inicial y los costes anuales, constantes o variables (energía, conservación, vigilancia, etc.) durante su vida útil. Todos estos desembolsos se capitalizan a un determinado interés durante un periodo igual al de su vida útil. A continuación, se calcula la anualidad capaz de financiar ese capital a lo largo de la vida útil de esa unidad de obra. Por último, se divide esta anualidad por el volumen anual de agua producida, y, de este modo, se obtiene la incidencia de esta unidad de obra sobre el precio del metro cúbico de agua. Procediendo análogamente con las restantes unidades de obra y sumando los costes parciales, se obtiene el coste total del metro cúbico de agua, en el supuesto teórico de que no existan intereses intercalares. En último término, conviene calcular la incidencia en tanto por ciento, de cada unidad y subunidad de obra sobre el coste del agua.

A continuación, estudiaremos las fórmulas necesarias para calcular, de acuerdo con la metodología expuesta, el coste unitario del agua.

En primer lugar, calcularemos la inversión inicial (I) de la unidad de obra, que se obtendrá como suma de los precios (A), (B), (C), ..., de cada una de las subunidades en que se descomponga, cuyos respectivos periodos de vida útil son (a), (b), (c), ... Llamaremos (i) al interés anual, que se supone igual para todas las unidades de obra parciales.

Para el cálculo de la cuota de amortización, se utiliza la fórmula de la amortización financiera:

$$a = I \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Donde:

I: Inversión.

n: nº. de años de vida de la inversión.

i: tanto por uno de interés.

Esto implica aceptar las hipótesis siguientes:

1. Que la duración de la inversión será la misma que la duración del préstamo.

2. Que el valor residual es cero.

A la suma de las anualidades de amortización de las inversiones A, B, C, ..., la llamaremos costes financieros anuales (CF), es decir,

$$CF = aa + bb + cc + \dots$$

Por otra parte, la planta exigirá unos costes de explotación anuales, que se calculan como suma de los costes parciales: COSTE DE LA ENERGÍA (E), COSTE DE MANTENIMIENTO (M) y COSTE DE VIGILANCIA (V).

Conocidos CF y CE, se calculará el coste del metro cúbico de agua mediante la expresión:

$$C_T = \frac{CF + CE}{Q \times t}$$

donde Q x t es el volumen anual producido.

Costes de Capital (Inversión)

La inversión necesaria para instalar una planta de Ósmosis Inversa incluye el valor final de la ejecución del correspondiente proyecto, así como el de todas las infraestructuras necesarias: evacuación de salmueras, y almacenamiento del agua producto.

Estimada la inversión, se procederá al cálculo de las anualidades de amortización; bajo la hipótesis de

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|------|------|-----|
| Producción | | | | | | | | | | | | |
| 1.000 m³/día | 0,5 | 1 | 2 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 54,8 | 82,2 | 137 |
| Inversión | | | | | | | | | | | | |
| 1.000 ptas/m³día | 167 | 140 | 125 | 110 | 102 | 95 | 92 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |

que el capital ha sido prestado a un interés del 5% anual y un período de amortización de 20 años, que viene a coincidir con la vida útil media de las instalaciones de la planta.

Los datos más recientes que se han encontrado en la bibliografía especializada sobre el tema, sobretodo los concursos públicos de los últimos años, nos ha permitido construir un gráfico de costes de inversión en función de la capacidad de planta. Como cifra orientativa podemos utilizar para grandes plantas de O.I. (Producción ≥ 10.000 m³/día) la inversión de 100.000 ptas por m³/día de agua desalada. Esta cifra es la más frecuente entre las plantas presupuestadas durante el último año por las principales empresas desaladoras del mundo.

Como puede verse en la tabla anterior, existe una tendencia a mantener un coste de inversión por m³ día producido en un determinado rango, entre 102.000 y 90.000 ptas/m³·día, para grandes plantas. En nuestra opinión, la economía de escala que defienden algunos fabricantes y/o diseñadores no está suficientemente justificada.

Estas cifras globales de inversión son insuficientes

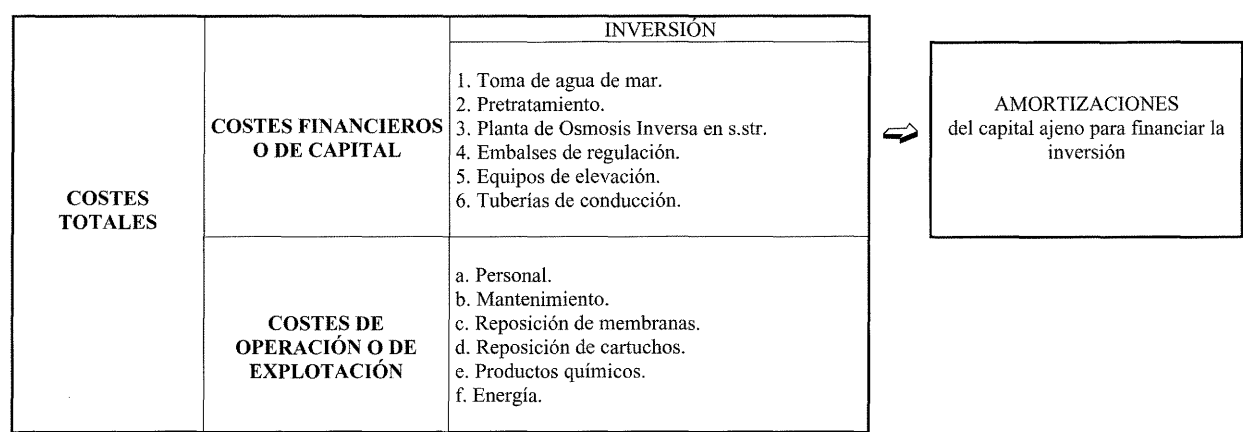
para conocer el coste del m³ del agua desalada, por lo que es necesario descomponer las principales partidas que intervienen en la inversión.

Del análisis de la bibliografía disponible y de los datos aportados verbalmente por los expertos consultados podremos llegar a establecer cual es la estructura de costes de inversión de una planta de las características anteriormente citadas (grandes plantas).

Estructura de costes de inversión de una planta de agua de mar por O.I.

El periodo de amortización de una desaladora es de 20 años. Sin embargo, la evolución tecnológica puede dejar obsoleta una planta en un tiempo menor. La experiencia demuestra que actualmente los tiempos de amortización tienden a disminuir por la mencionada amortización técnica y que los valores residuales al finalizar el periodo de amortización suelen ser cero, ya que nada es aprovechable por desgaste o por desfase tecnológico.

Considerando un valor residual cero y una financiación del 100% de la inversión al 5% de interés a devolver en 20 años, los costes debidos a la amortización serían los de la tabla siguiente:



ESQUEMA DEL COSTE DE DESALACIÓN DEL AGUA DE MAR POR ÓSMOSIS INVERSA

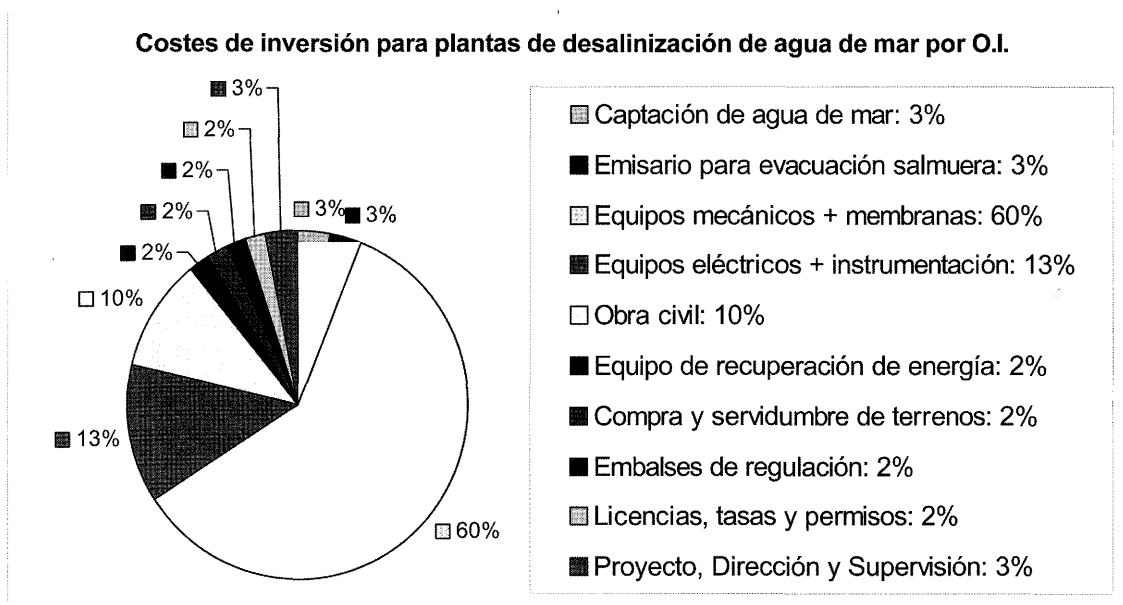
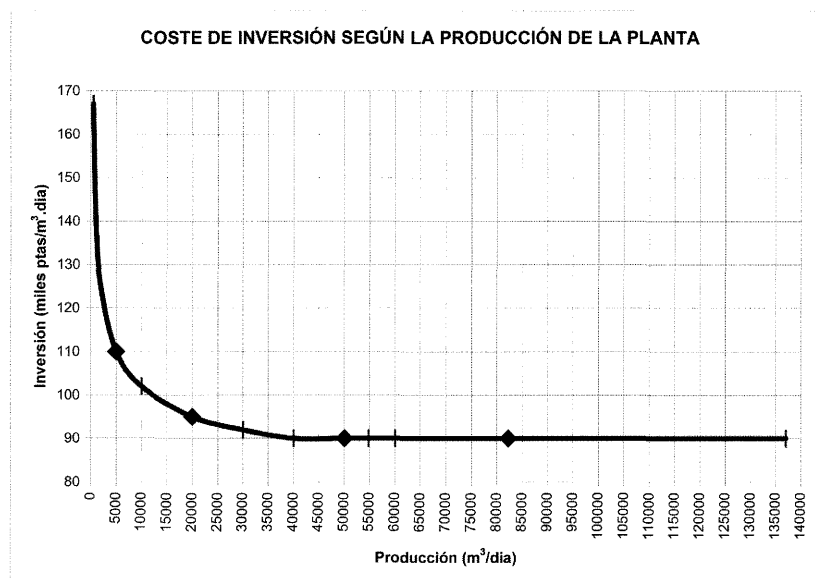
| ANUALIDADES DE AMORTIZACIÓN PARA 1 MPTA | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Años | Interés (%) | | | | | | |
| | 3,25 | 3,5 | 3,75 | 4 | 4,25 | 4,75 | 5 |
| 1 | 1.032.500 | 1.035.000 | 1.037.500 | 1.040.000 | 1.042.500 | 1.047.500 | 1.050.000 |
| 2 | 524.505 | 526.400 | 528.298 | 530.196 | 532.096 | 535.900 | 537.805 |
| 3 | 355.231 | 356.934 | 358.640 | 360.349 | 362.060 | 365.490 | 367.209 |
| 4 | 270.637 | 272.251 | 273.869 | 275.490 | 277.115 | 280.376 | 282.012 |
| 5 | 219.916 | 221.481 | 223.052 | 224.627 | 226.207 | 229.381 | 230.975 |
| 6 | 186.130 | 187.668 | 189.212 | 190.762 | 192.317 | 195.445 | 197.017 |
| 7 | 162.022 | 163.544 | 165.074 | 166.610 | 168.152 | 171.257 | 172.820 |
| 8 | 143.963 | 145.477 | 146.998 | 148.528 | 150.065 | 153.162 | 154.722 |
| 9 | 129.936 | 131.446 | 132.965 | 134.493 | 136.029 | 139.128 | 140.690 |
| 10 | 118.731 | 120.241 | 121.761 | 123.291 | 124.830 | 127.937 | 129.505 |
| 11 | 109.579 | 111.092 | 112.615 | 114.149 | 115.693 | 118.813 | 120.389 |
| 12 | 101.967 | 103.484 | 105.012 | 106.552 | 108.103 | 111.240 | 112.825 |
| 13 | 95.539 | 97.062 | 98.596 | 100.144 | 101.703 | 104.860 | 106.456 |
| 14 | 90.042 | 91.571 | 93.113 | 94.669 | 96.238 | 99.416 | 101.024 |
| 15 | 85.289 | 86.825 | 88.376 | 89.941 | 91.520 | 94.721 | 96.342 |
| 16 | 81.140 | 82.685 | 84.245 | 85.820 | 87.410 | 90.635 | 92.270 |
| 17 | 77.490 | 79.043 | 80.613 | 82.199 | 83.800 | 87.051 | 88.699 |
| 18 | 74.254 | 75.817 | 77.397 | 78.993 | 80.607 | 83.883 | 85.546 |
| 19 | 71.368 | 72.940 | 74.531 | 76.139 | 77.764 | 81.068 | 82.745 |
| 20 | 68.779 | 70.361 | 71.962 | 73.582 | 75.220 | 78.550 | 80.243 |
| 21 | 66.444 | 68.037 | 69.649 | 71.280 | 72.931 | 76.289 | 77.996 |
| 22 | 64.329 | 65.932 | 67.555 | 69.199 | 70.862 | 74.248 | 75.971 |
| 23 | 62.406 | 64.019 | 65.653 | 67.309 | 68.986 | 72.400 | 74.137 |
| 24 | 60.649 | 62.273 | 63.919 | 65.587 | 67.276 | 70.719 | 72.471 |
| 25 | 59.039 | 60.674 | 62.332 | 64.012 | 65.715 | 69.185 | 70.952 |
| 26 | 57.560 | 59.205 | 60.875 | 62.567 | 64.283 | 67.782 | 69.564 |
| 27 | 56.196 | 57.852 | 59.533 | 61.239 | 62.967 | 66.494 | 68.292 |
| 28 | 54.935 | 56.603 | 58.295 | 60.013 | 61.755 | 65.310 | 67.123 |
| 29 | 53.767 | 55.445 | 57.150 | 58.880 | 60.635 | 64.218 | 66.046 |
| 30 | 52.682 | 54.371 | 56.088 | 57.830 | 59.598 | 63.209 | 65.051 |
| 31 | 51.672 | 53.372 | 55.100 | 56.855 | 58.637 | 62.276 | 64.132 |
| 32 | 50.730 | 52.442 | 54.181 | 55.949 | 57.743 | 61.409 | 63.280 |
| 33 | 49.850 | 51.572 | 53.324 | 55.104 | 56.911 | 60.605 | 62.490 |
| 34 | 49.026 | 50.760 | 52.523 | 54.315 | 56.135 | 59.856 | 61.755 |
| 35 | 48.253 | 49.998 | 51.773 | 53.577 | 55.410 | 59.158 | 61.072 |
| 36 | 47.528 | 49.284 | 51.071 | 52.887 | 54.732 | 58.507 | 60.434 |
| 37 | 46.846 | 48.613 | 50.411 | 52.240 | 54.097 | 57.898 | 59.840 |
| 38 | 46.204 | 47.982 | 49.792 | 51.632 | 53.502 | 57.329 | 59.284 |
| 39 | 45.599 | 47.388 | 49.209 | 51.061 | 52.944 | 56.796 | 58.765 |
| 40 | 45.028 | 46.827 | 48.659 | 50.523 | 52.418 | 56.297 | 58.278 |
| 41 | 44.488 | 46.298 | 48.142 | 50.017 | 51.924 | 55.828 | 57.822 |
| 42 | 43.978 | 45.798 | 47.653 | 49.540 | 51.459 | 55.388 | 57.395 |
| 43 | 43.494 | 45.325 | 47.191 | 49.090 | 51.021 | 54.974 | 56.993 |
| 44 | 43.036 | 44.878 | 46.754 | 48.665 | 50.607 | 54.584 | 56.616 |
| 45 | 42.601 | 44.453 | 46.341 | 48.262 | 50.217 | 54.218 | 56.262 |
| 46 | 42.188 | 44.051 | 45.949 | 47.882 | 49.848 | 53.872 | 55.928 |
| 47 | 41.796 | 43.669 | 45.578 | 47.522 | 49.499 | 53.546 | 55.614 |
| 48 | 41.423 | 43.306 | 45.226 | 47.181 | 49.169 | 53.239 | 55.318 |
| 49 | 41.068 | 42.962 | 44.892 | 46.857 | 48.856 | 52.949 | 55.040 |
| 50 | 40.730 | 42.634 | 44.574 | 46.550 | 48.560 | 52.675 | 54.777 |

Estructura de costes de inversión de una planta de agua de mar por O.I.

| ELEMENTO | MAX(%) | MIN(%) | MED(%) |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Captación de agua de mar. | 5 | 2 | 3 |
| Emisario para evacuación de salmuera. | 4 | 2 | 3 |
| Equipos mecánicos + membranas. | 70 | 50 | 60 |
| Equipos eléctricos + instrumentación. | 15 | 10 | 13 |
| Obra civil. | 15 | 5 | 10 |
| Equipo de recuperación de energía. | 3 | 1 | 2 |
| Compra y servidumbre de terrenos. | 3 | 1 | 2 |
| Embalses de regulación. | 3 | 1 | 2 |
| Licencias, tasas y permisos. | 2 | 1 | 2 |
| Proyecto, Dirección y Supervisión. | 4 | 2 | 3 |

Repercusión sobre el coste del m³ debido a la amortización

| PRODUCCIÓN (m³/día) | PRODUCCIÓN (m³/año) | INVERSIÓN (Pts/m³·día) | INVERSIÓN (MPts) | ANUALIDAD DE AMORTIZACIÓN (Pts) | Pts/m³ |
|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------|
| 500 | 182.500 | 167.000 | 84 | 6.740.412 | 36,93 |
| 1.000 | 365.000 | 140.000 | 140 | 11.234.020 | 30,78 |
| 2.000 | 730.000 | 125.000 | 250 | 20.060.750 | 27,48 |
| 5.000 | 1.825.000 | 110.000 | 550 | 44.133.650 | 24,18 |
| 10.000 | 3.650.000 | 102.000 | 1.020 | 81.847.860 | 22,42 |
| 20.000 | 7.300.000 | 95.000 | 1.900 | 152.461.700 | 20,89 |
| 30.000 | 10.950.000 | 92.000 | 2.760 | 221.470.680 | 20,23 |
| 40.000 | 14.600.000 | 90.000 | 3.600 | 288.874.800 | 19,79 |
| 50.000 | 18.250.000 | 90.000 | 4.500 | 361.093.500 | 19,79 |
| 54.800 | 20.000.000 | 90.000 | 4.932 | 395.758.476 | 19,79 |
| 60.000 | 21.900.000 | 90.000 | 5.400 | 433.312.200 | 19,79 |
| 82.200 | 30.000.000 | 90.000 | 7.398 | 593.637.714 | 19,79 |
| 137.000 | 50.000.000 | 90.000 | 12.330 | 989.396.190 | 19,79 |



Repercusión sobre el coste del m³ debido a la amortización.

Costes de Explotación (Operación)

Los costes de operación, también llamados de explotación, suelen descomponerse en: personal, productos químicos, cartuchos de filtro, mantenimiento, reposición de membranas y coste energético.

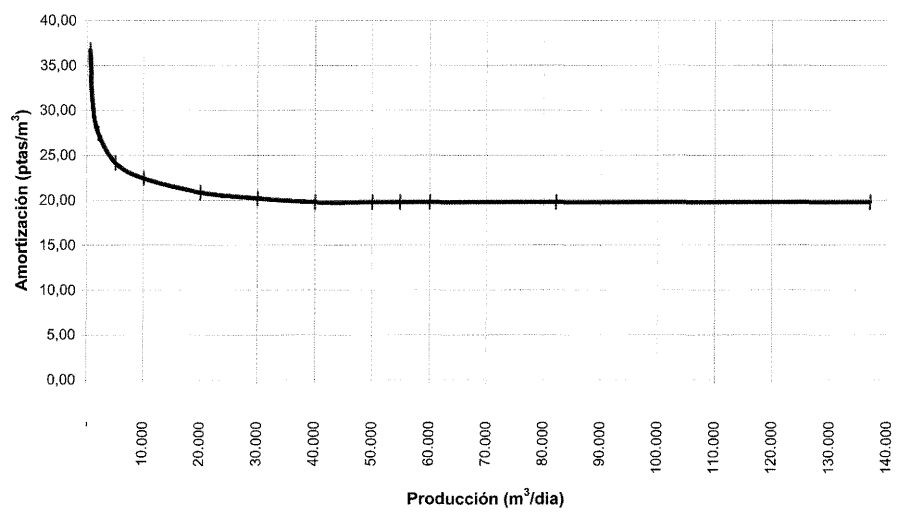
Personal

El personal necesario para la operación y manteni-

miento de la planta depende en gran medida del tamaño de la planta y de su grado de automatización. La plantilla de personal puede dividirse en tres categorías: personal de dirección, personal de operación y personal de mantenimiento. Hay que recordar que en plantas de desalación de agua de mar por Ósmosis Inversa no son convenientes las paradas en la planta, por lo que será necesario mantener tres turnos del personal de operación y mantenimiento.

En pequeñas plantas los operarios pueden realizar al mismo tiempo labores en otras instalaciones del complejo industrial o turístico al que abastecen, por lo que su dedicación a la planta de desalación es sólo par-

REPERCUSIÓN SOBRE EL COSTE DEL M³
DEBIDO A LA AMORTIZACIÓN



cial. En estas instalaciones (500-2.000 m³/día) la dedicación del personal es compartida al 50% con otras instalaciones. En plantas desaladoras de gran tamaño (superiores a 30.000 m³/día) se necesita una estructura más compleja que podemos resumir en:

se ha realizado una estimación de los costes de personal de acuerdo con la experiencia y los datos obtenidos de algunas plantas en funcionamiento. En cualquier caso, éste es un capítulo de costes que deben tomarse como aproximados y por lo tanto tie-

| PUESTO | Nº PERSONAS | COSTE (sin S.S.) | |
|----------------------------------|-------------|------------------|-------|
| | | Unitario | Total |
| Personal de dirección: | | | |
| Jefe de planta. | 1 | 5 | 5 |
| Jefe de mantenimiento. | 1 | 4 | 4 |
| Personal de operación: | | | |
| Operadores. Oficial 1ª . | 5 | 2'5 | 12'5 |
| Ayudante de operador. Oficial 2ª | 5 | 2'2 | 11'0 |
| Personal de mantenimiento: | | | |
| Mecánico. Oficial 1ª . | 1 | 2'5 | 2'5 |
| Electricista. Oficial 1ª . | 1 | 2'5 | 2'5 |
| Fontanero. Oficial 1ª . | 1 | 2'5 | 2'5 |
| Instrumentista. Oficial 1ª . | 1 | 2'5 | 2'5 |
| Ayudantes. Oficial 3ª . | 2 | 2 | 4 |
| Peones. | 3 | 1'7 | 5'1 |
| Otros: | | | |
| Analista de laboratorio. | 1 | 2'5 | 2'5 |
| Auxiliar administrativo. | 1 | 2'5 | 2'5 |
| TOTAL | 23 | | 56'6 |
| TOTAL con cuotas S.S. (35%) | | | 76,41 |

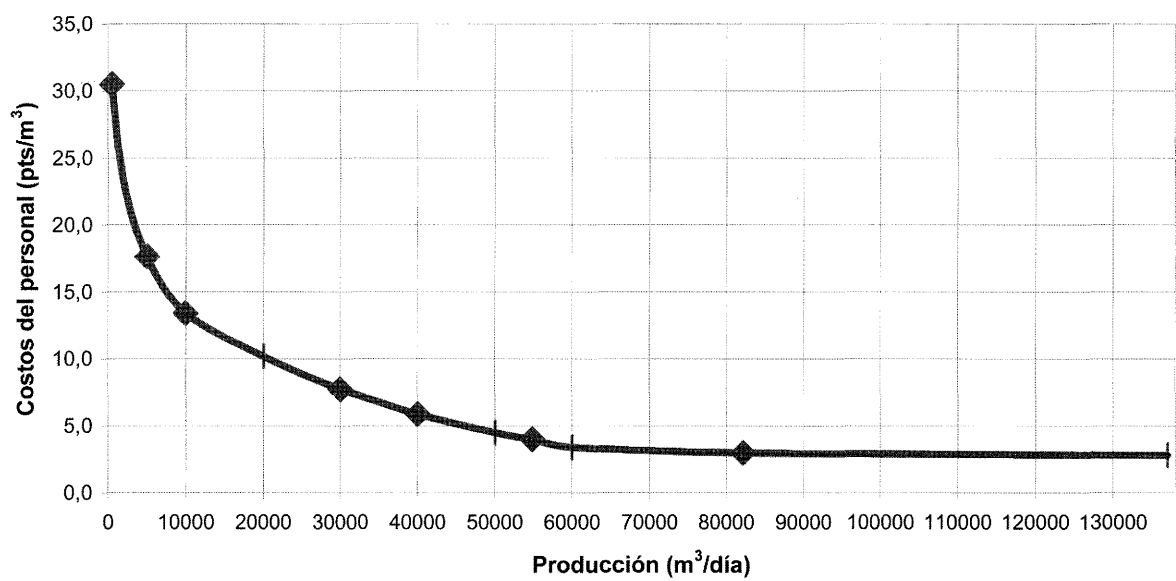
En las desaladoras de tamaño medio (entre 2.000 y 10.000 m³/día) no es imprescindible disponer de un personal dedicado exclusivamente a ellas y la dimensión y estructura del personal es variable según las circunstancias de la planta. Aunque para este estudio

nen solamente carácter orientativo.

Mantenimiento

En este capítulo se incluyen las reparaciones para

REPERCUSIÓN SOBRE EL COSTE DEL M³
DEBIDO AL PERSONAL



| Producción | | Coste personal | |
|------------|------------|----------------|---------|
| m³/día | m³/año | Mptas/año | ptas/m³ |
| 500 | 182.500 | 5,57 | 30,5 |
| 2.000 | 730.000 | 16,94 | 23,2 |
| 5.000 | 1.825.000 | 32,18 | 17,6 |
| 10.000 | 3.650.000 | 48,92 | 13,4 |
| 20.000 | 7.300.000 | 74,37 | 10,2 |
| 30.000 | 10.950.000 | 84,79 | 7,7 |
| 40.000 | 14.600.000 | 85,92 | 5,9 |
| 50.000 | 18.250.000 | 81,63 | 4,5 |
| 54.800 | 20.000.000 | 89,46 | 4,0 |
| 60.000 | 21.900.000 | 74,46 | 3,4 |
| 82.200 | 30.000.000 | 134,19 | 3,0 |
| 137.000 | 50.000.000 | 223,65 | 2,8 |

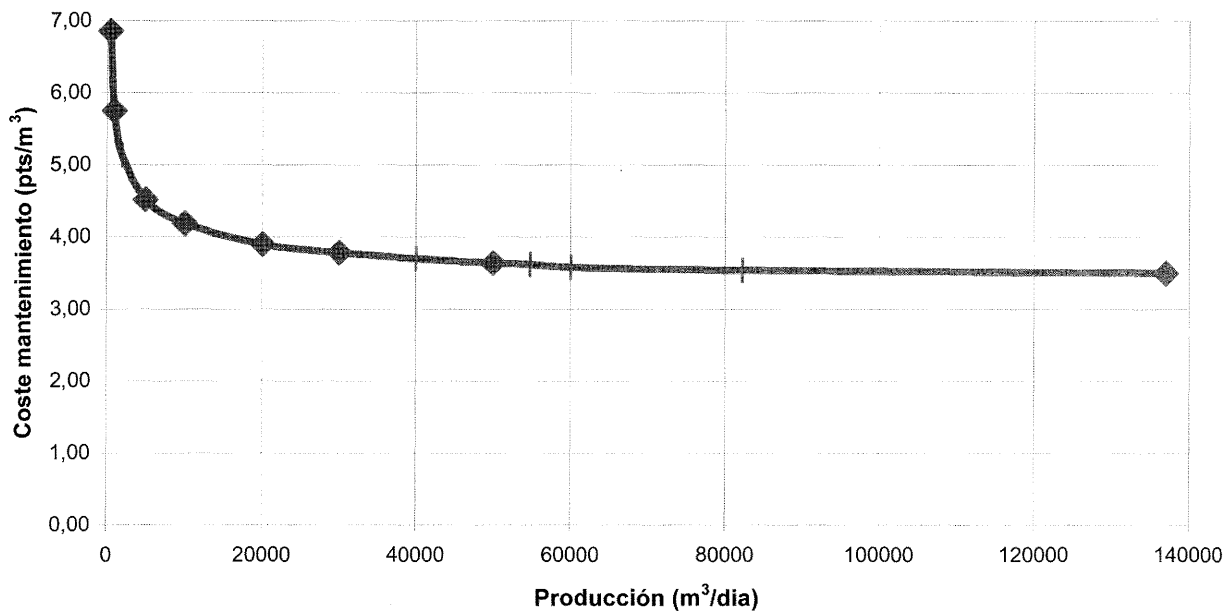
conservación de las instalaciones, consumibles y materiales de mantenimiento, como son: repuestos, lubricantes, etc. No se consideran los costes del personal dedicado a estas reparaciones porque ya se han tenido en cuenta en su correspondiente apartado.

El coste de mantenimiento de la planta es variable

a lo largo de su vida, por lo que en este tipo de estudios se suele utilizar el coste medio anual de mantenimiento.

Actualmente, los costes de mantenimiento de los equipos mecánicos y eléctricos son relativamente bajos debido a la alta calidad de los materiales y dise-

REPERCUSIÓN SOBRE EL COSTE DEL M³ DEBIDO AL MANTENIMIENTO



Repercusión sobre el coste del m³ debido al mantenimiento

| PRODUCCIÓN | | INVERSIÓN | MANTENIMIENTO | |
|---------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------------|
| m ³ /día | m ³ /año | | 1,5(%) | ptas/m ³ |
| 500 | 182.500 | 83 | 1,25 | 6,86 |
| 1.000 | 365.000 | 140 | 2,10 | 5,75 |
| 2.000 | 730.000 | 250 | 3,75 | 5,14 |
| 5.000 | 1.825.000 | 550 | 8,25 | 4,52 |
| 10.000 | 3.650.000 | 1.020 | 15,29 | 4,19 |
| 20.000 | 7.300.000 | 1.898 | 28,47 | 3,90 |
| 30.000 | 10.950.000 | 2.759 | 41,39 | 3,78 |
| 40.000 | 14.600.000 | 3.601 | 54,02 | 3,70 |
| 50.000 | 18.250.000 | 4.429 | 66,43 | 3,64 |
| 54.800 | 20.002.000 | 4.827 | 72,41 | 3,62 |
| 60.000 | 21.900.000 | 5.227 | 78,40 | 3,58 |
| 82.200 | 30.003.000 | 7.081 | 106,21 | 3,54 |
| 137.000 | 50.005.000 | 11.668 | 175,02 | 3,50 |

ños usados en este tipo de instalaciones. Por analogía con otras plantas desaladoras estimamos que el coste por este concepto está comprendido entre el 1 y el 2% del valor de los equipos instalados, que en nuestro caso lo asimilaremos al valor de la inversión.

Repercusión sobre el coste del m³ debido al mantenimiento.

Reposición de membranas

Hasta hace unos pocos años la vida media de las membranas se estimaba en 5 años, es decir, se estimaba un grado de reposición de un 20% anual. En la actualidad se ha mejorado considerablemente la calidad de las membranas y también su precio, por lo que se ha reducido sensiblemente su coste y, por lo tanto, también su repercusión sobre el coste del metro cúbico de agua desalada producido.

Actualmente, los proyectos de plantas desaladoras se realizan teniendo en cuenta una tasa del 5 al 10% de reposición anual de membranas, siempre que los procesos de protección hayan sido bien diseñados y que las aguas de alimentación procedan de un pozo playero sin problemas de contaminación bacteriana. Cuando se trabaja en una toma directa de agua de mar se considera una tasa del 10 al 20%, dependiendo de su contenido en materia orgánica.

En el caso de utilizar agua de mar muy contaminada, estas cifras aumentan debido a las frecuentes limpiezas de las membranas que hay que realizar, lo que también reduce notablemente su vida media.

Como se ha visto, el coste de reposición de membranas depende, sobre todo, de las características químicas y bacteriológicas del agua bruta y muy poco del tamaño de la planta.

El cálculo estimado de las membranas necesarias para una planta desaladora de agua de mar se ha realizado bajo la hipótesis de que un tubo de 6 membranas produce un permeado medio de 60 m³/día, y que el coste oscila entre 140.000 y 90.000 ptas/ud.

Repercusión sobre el coste del m³ debido a la reposición de membranas.

Los datos obtenidos en diversas plantas desaladoras de aguas salobres indican que este coste se sitúa en el intervalo de 1 a 2 ptas/m³ de agua desalada. En el caso de agua de mar, el coste de reposición de las membranas se sitúa entre 2 y 4 ptas/m³ de agua desalada siempre que no se produzcan frecuentes contaminaciones, con lo que este coste podría aumentar sensiblemente.

Reposición de cartuchos de filtro

La reposición de cartuchos se realiza cada tres meses. Su repercusión económica por metro cúbico de agua desalada es según la experiencia obtenida de otras plantas es de 1 a 1,5 ptas, en el caso del agua de mar y en el caso de aguas salobres de 0,1 ptas/m³.

Productos químicos

Los reactivos químicos se utilizan en la desalación según el cuadro siguiente.

Reactivos y función de los mismos.

FASE DEL PROCESO PRODUCTO QUÍMICO FUNCIONES

1) Acondicionamiento del agua de alimentación.

a) Hipoclorito sódico. Desinfectante.

Eliminación de materia orgánica y/o actividad biológica.

b) Coagulante. Eliminación de coloides sobre lechos filtrantes.

Reducción del SDI.

c) Ácido Sulfúrico. Control de precipitados de CaCO₃.

Control del pH.

Mejor acción bactericida del cloro.

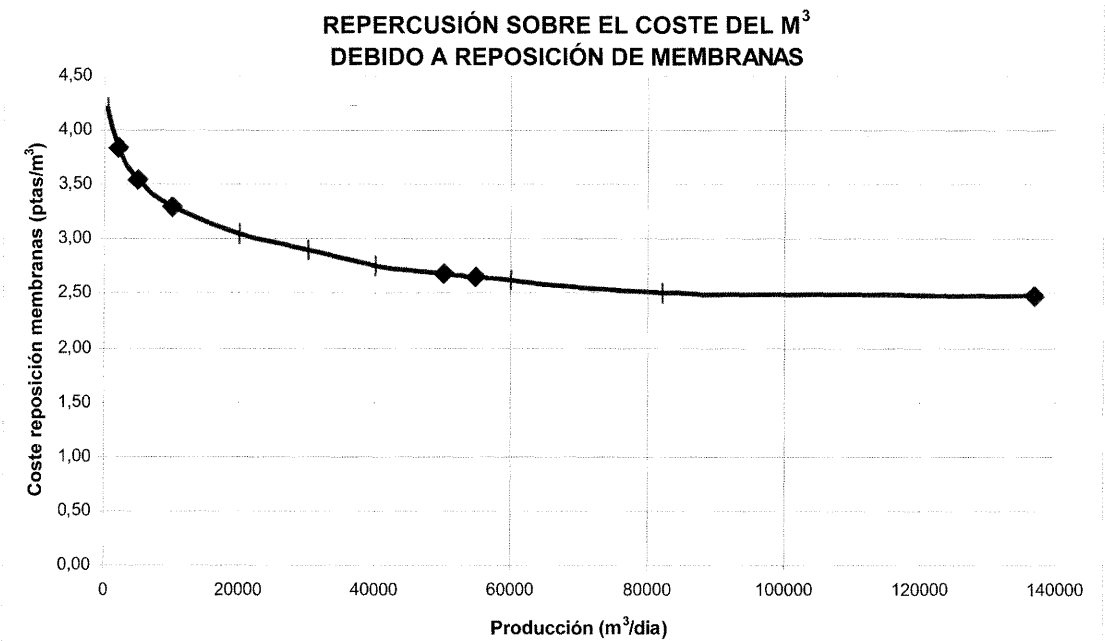
d) Polielectrólito. Ayuda para la floculación.

Produce flóculos de mayor tamaño.

e) Dispersante. Secuestrante de las sales poco solubles.

Repercusión sobre el coste del m³ debido a la reposición de membranas

| PRODUCCIÓN | | INVERSIÓN | | | COSTE REPOSICIÓN | |
|------------|------------|--------------|---------------|---------|------------------|---------|
| m³/día | m³/año | Nº membranas | Ptas/membrana | Mptas | 10%(Mptas) | ptas/m³ |
| 500 | 182.500 | 55 | 140.000 | 7,7 | 0,77 | 4,20 |
| 2.000 | 730.000 | 200 | 140.000 | 28,0 | 2,80 | 3,84 |
| 5.000 | 1.825.000 | 480 | 135.000 | 64,8 | 6,48 | 3,55 |
| 10.000 | 3.650.000 | 927 | 130.000 | 120,5 | 12,05 | 3,30 |
| 20.000 | 7.300.000 | 1.781 | 125.000 | 222,7 | 22,27 | 3,05 |
| 30.000 | 10.950.000 | 2.761 | 115.000 | 317,6 | 31,76 | 2,90 |
| 40.000 | 14.600.000 | 3.824 | 105.000 | 401,5 | 40,15 | 2,75 |
| 50.000 | 18.250.000 | 4.991 | 98.000 | 489,1 | 48,91 | 2,68 |
| 54.800 | 20.000.000 | 5.889 | 90.000 | 530,0 | 53,00 | 2,65 |
| 60.000 | 21.900.000 | 6.375 | 90.000 | 573,8 | 57,38 | 2,62 |
| 82.200 | 30.000.000 | 8.333 | 90.000 | 750,0 | 75,00 | 2,50 |
| 137.000 | 50.000.000 | 13.722 | 90.000 | 1.235,0 | 123,50 | 2,47 |



Reactivos y función de los mismos

| FASE DEL PROCESO | PRODUCTO QUÍMICO | FUNCIONES |
|--|-------------------------|---|
| 1) Acondicionamiento del agua de alimentación. | a) Hipoclorito sódico | Desinfectante. Eliminación de materia orgánica y/o actividad biológica. |
| | b) Coagulante. | Eliminación de coloides sobre lechos filtrantes. Reducción del SDI. |
| | c) Ácido Sulfúrico. | Control de precipitados de CaCO_3 . Control del pH. Mejor acción bactericida del cloro. |
| | d) Polielectrólito. | Ayuda para la floculación. Produce flóculos de mayor tamaño. |
| | e) Dispersante. | Secuestrante de las sales poco solubles. (CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2) |
| | f) Bisulfico sódico. | Eliminación del cloro residual. En algunos casos se emplea para regulación del pH y control de los desarrollos biológicos. |
| 2) Acondicionamiento del permeado. | g) Hidróxido cálcico. | Control del pH y calcificación del agua. |
| | h) Anhídrido carbónico. | Carbonatación del agua. |
| | i) Hipoclorito sódico. | Desinfectante. |
| 3) Limpieza de las membranas. | j) Diversos reactivos. | Limpieza química de las membranas. |

Fuente: Manuel Fariñas Iglesias, "OSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones." Ed. McGraw-Hill.

(CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2)

f) Bisulfico sódico. Eliminación del cloro residual.

En algunos casos se emplea para regulación del pH y control de los desarrollos biológicos.

2) Acondicionamiento del permeado. g) Hidróxido cálcico. Control del pH y calcificación del agua.

h) Anhídrido carbónico. Carbonatación del agua.

i) Hipoclorito sódico. Desinfectante.

3) Limpieza de las membranas.

j) Diversos reactivos. Limpieza química de las membranas.

Fuente: Manuel Fariñas Iglesias, "OSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones". Ed. McGraw-Hill.

El consumo de reactivos es, en principio, directamente proporcional a la producción de agua, por lo que

el coste por metro cúbico es independiente del tamaño de la planta. Sin embargo, puede conseguirse un abaratamiento de los productos químicos al aumentar la cantidad de reactivos consumidos.

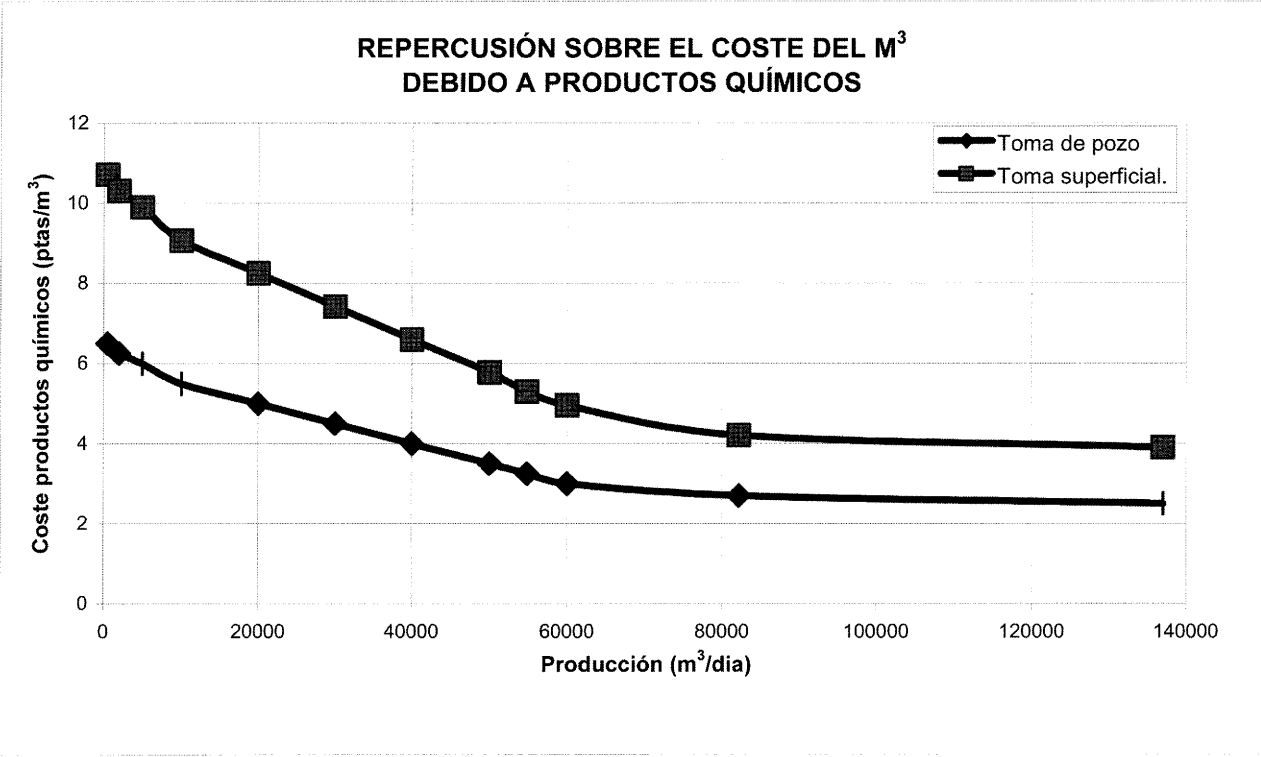
Repercusión sobre el coste del m^3 debido a consumo de reactivos.

Los productos químicos a utilizar en la desalación (coagulante, hipoclorito sódico, bisulfito, detergente, ácido cítrico, ácido sulfúrico) dependen de las características del agua de alimentación. El único producto usado en cualquier circunstancia es el ácido sulfúrico.

Con los datos utilizados para este estudio podemos asegurar que el coste unitario por este concepto se encuentra entre 2,5 y 6,5 ptas/ m^3 de agua desalada, en el caso de que la toma sea de pozo. Estas cifras pueden elevarse considerablemente en el caso de que la toma

Repercusión sobre el coste del m³ debido a consumo de reactivos

| Producción | | Coste anual (Mptas) | | Coste por m ³ (Ptas) | |
|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------------------|------------------|
| m ³ /dia | m ³ /año | Toma pozo | Toma superficial | Toma pozo | Toma superficial |
| 500 | 182.500 | 1,19 | 1,96 | 6,5 | 10,73 |
| 2.000 | 730.000 | 4,56 | 7,53 | 6,25 | 10,31 |
| 5.000 | 1.825.000 | 10,95 | 18,07 | 6 | 9,90 |
| 10.000 | 3.650.000 | 20,08 | 33,12 | 5,5 | 9,08 |
| 20.000 | 7.300.000 | 36,50 | 60,23 | 5 | 8,25 |
| 30.000 | 10.950.000 | 49,28 | 81,30 | 4,5 | 7,43 |
| 40.000 | 14.600.000 | 58,40 | 96,36 | 4 | 6,60 |
| 50.000 | 18.250.000 | 63,88 | 105,39 | 3,5 | 5,78 |
| 54.800 | 20.000.000 | 65,00 | 106,00 | 3,25 | 5,30 |
| 60.000 | 21.900.000 | 65,70 | 108,41 | 3 | 4,95 |
| 82.200 | 30.000.000 | 81,00 | 126,00 | 2,7 | 4,2 |
| 137.000 | 50.000.000 | 125,00 | 195,00 | 2,5 | 3,9 |



sea superficial y el agua del mar esté bastante contaminada.

Debe hacerse constar que el coste de reactivos que aquí se menciona se refiere básicamente a los reactivos necesarios para el pretratamiento y limpieza de la planta. No se consideran los reactivos para el acondicionamiento del permeado porque no es necesario en el caso de su utilización en la agricultura. A título orientativo diremos que cuando el agua desalada vaya a utilizarse para abastecimiento humano será necesario un posttratamiento consistente en una desinfección con cloro y una corrección de la dureza y del pH, cuyos costes ascienden a una cantidad que varía entre 3,5 y 4,5 ptas/m³.

Energía

El consumo energético para desalar agua de mar por Ósmosis Inversa es del orden de 5,1 Kwh/m³, que se descompone así:

- a) Bombeo agua de mar: 0,2 Kwh/m³
- b) Bombeo intermedio: 0,3 Kwh/m³
- c) Bombeo alta presión: 3,3 Kwh/m³
- d) Bombeo producto (a 300 m.s.n.m.): 1,3 Kwh/m³
- Total: 5,1 Kwh/m³

El consumo energético del apartado c) es de difícil estimación puesto que cada instalación suele requerir presiones diferentes en función de las peculiaridades de la instalación, y sobretodo de la altura de elevación. Para una mayor valoración de los consumos energéticos pueden utilizarse las tablas preparadas por Manuel Fariñas, que se indican a continuación:

La tabla de consumos específicos de energía eléctrica es válida para obtener agua con una salinidad inferior a 400 mg/l. Si se quisiera obtener agua cuya salinidad estuviese por debajo de los 200 mg/l habría que incrementar los consumos específico anteriores en 0,72 Kwh/m³.

El consumo energético está condicionando el coste

final del agua desalada en más de la mitad de su valor. De ahí que el abaratamiento de la energía consumida en desalación sea un objetivo permanente de proyectistas y usuarios de agua desalada. Según las tarifas vigentes y mediante y una correcta gestión del suministro energético, pueden plantearse las siguientes formas de suministro a las plantas desaladoras:

a) Suministro de electricidad de la red con tarifa normal. El precio de la electricidad, correspondiente a la tarifa general de media utilización, incluyendo los términos de potencia y energía, tiene un valor medio de 12 ptas el Kwh.

b) Suministro de electricidad de la red con tarifa 3.1 tipo 5. Esta modalidad aprovecha las ventajas económicas derivadas de la distribución de los días de suministro eléctrico en categorías temporales denominadas pico, alto, medio y bajo. A su vez, cada uno de estos días está dividido en horas valle, llano y punta. La distribución horaria y los coeficientes modificadores a efectos de la discriminación horaria se señalan en la tabla.

Además, cabe considerar un descuento de hasta el 4% por energía reactiva, si la instalación tiene un adecuado factor de potencia.

La tarifa señalada se refiere al suministro en alta tensión, por lo que el cálculo del coste de la energía consumida debe tener en cuenta un rendimiento del 97% por transformación.

Estas condiciones permiten consumir energía eléctrica durante 5.720 horas al año, supervalle y valle, a un precio de 4,04 pesetas por cada Kwh. Si el consumo se extiende también a las horas llano, 2.020 horas al año, el precio puede ser de 5,89 ptas/Kwh. En suministro continuo, el precio se sitúa en torno a 10,20 ptas/Kwh.

Estos precios permiten, a su vez, optar entre las siguientes soluciones:

1. Instalar una planta desaladora capaz de producir en 5.720 horas el volumen de agua necesario durante todo el año. Para ello hay que sobredimensionar las instalaciones y disponer de infraestructura de acumu-

Bombas y turbinas utilizadas

| TIPO DE MÁQUINA | | SÍMBOLO |
|-----------------|-------------------|----------------|
| Bomba | Pistones | B ₁ |
| | Segmentos | B ₂ |
| | Cámara partida | B ₃ |
| Turbina | Pelton | T ₁ |
| | B. Segmentos | T ₂ |
| | B. cámara partida | T ₃ |

Fuente: Manuel Fariñas Iglesias, "OSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones." Ed. McGraw-Hill.

Consumos específicos de energía eléctrica

| PRODUCCIÓN (m ³ /día) | | 500 - 2.000 | | 5.000 – 10.000 | | ≥ 20.000 | |
|--|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Tipo de máquina | Bomba | B ₁ | B ₂ | B ₂ | B ₃ | B ₃ | B ₃ |
| | Turbina | T ₁ | T ₂ | T ₂ | T ₃ | T ₁ | T ₃ |
| Consumo específico Kwh/m ³ | Toma de pozo | 4,5 | 6,5 | 5,9 | 4,6 | 4,20 | 4,25 |
| | Toma superficial | 4,85 | 6,85 | 6,2 | 4,9 | 4,45 | 4,50 |

Fuente: Manuel Fariñas Iglesias, "OSMOSIS INVERSA. Fundamentos, tecnología y aplicaciones." Ed. McGraw-Hill.

1

Distribución horaria en la tarifa eléctrica 3.1 tipo 5 y coeficientes correctores a efectos del complemento de discriminación horaria

| Tipo de horas | Número de horas | Coeficiente corrector |
|---------------|-----------------|-----------------------|
| Supervalle | 1.080 | -50 |
| Valle | 4.640 | -43 |
| Llano | 2.020 | ----- |
| Punta | 320 | +100 |
| Superpunta | 700 | +300 |

lación de agua. En este caso se rebajan los costes energéticos a costa de aumentar el coste de inversión.

2. Instalar una planta desaladora capaz de producir en 7.740 horas el agua necesaria durante todo el año. En este caso la necesidad de sobredimensión es menor

así como la de infraestructura para acumular agua.

3. Instalar una planta desaladora que funcione durante las 8.760 horas que tiene el año.

c) Suministro energético mixto; energía de la red y autogeneración, alternándolo en función de la discri-

minación temporal de precios de la energía eléctrica. Esta solución, permite el funcionamiento de la planta durante todo el año con un precio final de la energía que es el valor de la media ponderada entre el de la energía eléctrica suministrada por la red y la autogenerada en la planta.

Una planta que consuma electricidad de la red durante 7.740 horas al año y el resto, 1.020 horas al año, autogenera su propia electricidad a un coste de 7 ptas/Kwh, tendrá un coste medio de 6,02 ptas/Kwh.

El coste energético de la desalación, en pesetas por metro cúbico, teniendo en cuenta aquellas opciones, se resume en la siguiente tabla:

Coste energético de la desalación de aguas, en pesetas por metro cúbico de agua desalada, de acuerdo con las tarifas establecidas en el RD 20016/1997, de 26 de diciembre, por el que se establece la tarifa eléctrica para 1998.

El elevado coste de la energía eléctrica hace que para medianas y grandes plantas sea interesante autoproducirla a partir de fuel mediante motores diesel que comprársela a la empresa eléctrica distribuidora. En este caso, los datos actuales sobre la producción de energía eléctrica para el autoconsumo serían los que se especifican en la tabla siguiente:

La reciente “liberalización” del mercado eléctrico español permite llegar a acuerdos entre las compañías eléctricas y las plantas desaladoras. Fruto de estos pactos se ha llegado recientemente a un acuerdo entre compañías eléctricas para ofrecer el Kwh para desalación a 7 pesetas. Sin embargo, algunas empresas eléctricas ofrecen menores precios del Kwh para circunstancias muy concretas. Parece, por lo tanto, que el momento es propicio para llegar a acuerdos puntuales sobre el coste de la energía; lo que puede hacer viable económicamente la construcción de plantas de desalación de agua de mar para la solución de problemas concretos con la condición de que se sitúen próximos a la costa.

Costes totales

Los costes totales se obtienen sumando los costes de capital (anualidades de amortización) y los costes de explotación. Para la obtención de estos costes debemos remitirnos al cuadro “Coste total del m³ de agua de mar desalada”.

Conclusiones

A la vista de la metodología expuesta pueden obte-

| Suministro de electricidad | Aguas salobres | Agua de mar |
|------------------------------|----------------|-------------|
| Horas valle | 2,83-4,85 | 14,14-16,16 |
| Horas valle + llano | 4,12-7,07 | 20,62-23,56 |
| Mixto (red y autogeneración) | 4,21-7,22 | 21,07-24,08 |
| Continuo de la red | 7,14-12,24 | 35,70-40,80 |

Características de la producción de energía eléctrica para el autoconsumo

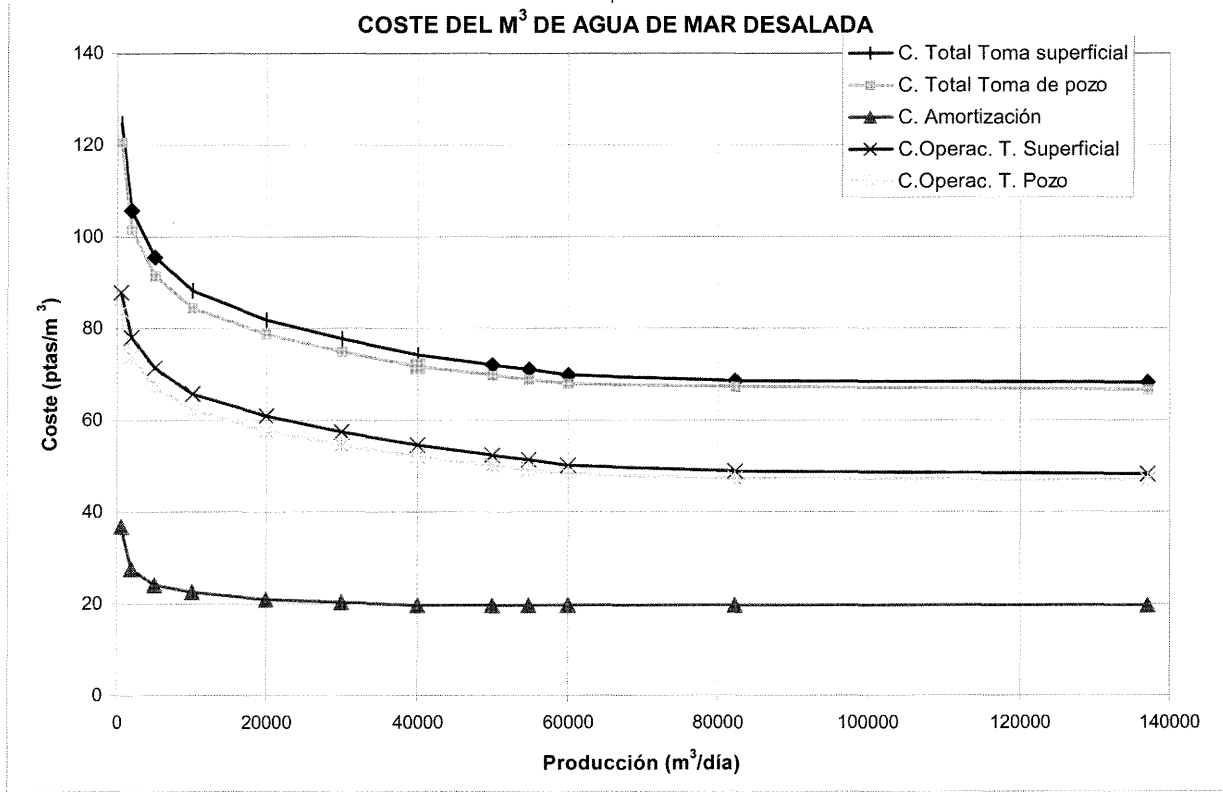
| Consumo específico (g Fuel/Kwh) | Costo de generación | Costo del mantenimiento (ptas/Kwh) | Costo de amortización (Ptas/Kwh) | Costo total (Ptas/Kwh) |
|---------------------------------|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 195 | 3,60 | 1,1 | 3,80 | 8,50 |

COSTE TOTAL DEL M³ DE AGUA DE MAR DESALADA

| Producción (m³/día) | 500 | 2.000 | 5.000 | 10.000 | 20.000 | 30.000 | 40.000 | 50.000 | 54.800 | 60.000 | 82.200 | 137.000 |
|---------------------------|----------|----------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|
| COSTES DE INVERSIÓN | | | | | | | | | | | | |
| Inversión (Mptas) | 84 | 250 | 550 | 1.020 | 1.900 | 2.760 | 3.600 | 4.500 | 4.392 | 5.400 | 7.398 | 12.330 |
| Amortización¹ | 36,93 | 27,48 | 24,18 | 22,42 | 20,89 | 20,23 | 19,79 | 19,79 | 19,79 | 19,79 | 19,79 | 19,79 |
| COSTES DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | | |
| Personal | 30,5 | 23,2 | 17,6 | 13,4 | 10,2 | 7,7 | 5,9 | 4,5 | 4,0 | 3,4 | 3,0 | 2,8 |
| Mantenimiento | 6,86 | 5,14 | 4,52 | 4,19 | 3,90 | 3,78 | 3,70 | 3,70 | 3,62 | 3,70 | 3,54 | 3,50 |
| Reposición membranas | 3,84 | 3,84 | 3,70 | 3,56 | 3,42 | 3,15 | 2,88 | 2,68 | 2,65 | 2,47 | 2,50 | 2,47 |
| Productos químicos | 6,5-10,7 | 6,2-10,3 | 6-9,9 | 5,5-9,1 | 5-8,2 | 4,5-7,4 | 4-6,6 | 3,5-5,8 | 3,2-5,3 | 3-4,9 | 2,7-4,2 | 2,5-3,9 |
| Energía Eléctrica² | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 | 35,7 |
| Total costes de operación | 84-88 | 74-78 | 67-71 | 62-66 | 58-61 | 55-57 | 52-55 | 50-52 | 49-51 | 48-50 | 47-49 | 47-48 |
| COSTE TOTAL DEL M³ | 121-125 | 101-106 | 92-95 | 85-88 | 79-82 | 75-78 | 72-74 | 70-72 | 69-71 | 68-70 | 67-69 | 67-68 |

¹ Amortización sin subvenciones.

² Energía Eléctrica: 7 ptas/kwh.



nerse las siguientes conclusiones:

1. La economía de escala es importante, por lo que conviene concentrar la producción de agua desalada y situarse sobre grandes tamaños de planta.

2. La instalación de bombas de cámara partida, en lugar de bombas de segmentos, incrementa ligeramente la inversión, pero consigue una importante economía en el consumo de energía eléctrica.

3. Es muy importante un buen diseño en las bombas para plantas de tamaño medio y grande con objeto de mejorar su rendimiento y reducir el consumo de energía eléctrica.

4. Siempre que sea posible, es conveniente la captación de agua de mar a través de pozo costero y utilizar una dosificación convencional (sulfúrico, hipoclorito, etc.) sin consumos elevados de bisulfito sódico. Estas opciones permiten reducir tanto el consumo de reactivos como el coste de reposición de membranas.

5. Con costes de energía eléctrica a 7 ptas/Kwh no parece ser muy interesante la autogeneración de ener-

gía eléctrica puesto que, como hemos visto, ésta se sitúa a unas 8 ptas/Kwh.

6. La desalación de agua de mar, con los costes actuales, no parece viable para usos agrícolas, salvo que puedan reducirse los costes más importantes, como son: la energía eléctrica y la amortización de la inversión, mediante ayudas a la inversión o mediante una reducción de tarifas eléctricas. Este último aspecto parece posible dado el carácter de gran consumidor que poseen las plantas de desalación de agua de mar.

Confederación Hidrográfica del Segura, infraestructuras hidráulicas más relevantes de los últimos 30 años

■ **Joaquín Ezcurra Cartagena**

Director técnico de la Confederación Hidrográfica del Segura

Ha sido una constante histórica en la Cuenca del Segura la alternancia de periodos de sequía con la presencia súbita de episodios de inundaciones. Sólo hace falta repasar la prensa de la época o las Actas capitulares de los Ayuntamientos ribereños del río Segura para comprobar las veces en que se ha pasado de la petición de rogativas para implorar lluvia a referencias sobre avenidas y desbordamientos del cauce. Lluvias de cierta intensidad y extendidas a una parte de la Cuenca pueden producir en pocos días avenidas importantes por las características hidrográficas de la Cuenca, con ramblas y ramblizos de mucha pendiente y corta longitud.

Las Vegas del Segura son modelo de fertilidad por la calidad de sus tierras, la bonanza del clima y la experiencia y conocimiento del agricultor, lo que favorece la producción de varias cosechas. Sin embargo, las sequías e inundaciones han gravado permanentemente el esfuerzo realizado, además de causar daños inestimables.

Importantes infraestructuras hidráulicas se han ido construyendo en la Cuenca a lo largo del siglo XX, sin olvidar las presas de Valdeinfierno y Puen-

tes, en la cabecera del Guadalentín, de épocas anteriores. Obras que cumplen la doble función de defensa contra avenidas y regulación de caudales, con las que se han conseguido reducir los problemas seculares en las Vegas del Segura por la peculiar climatología y la consiguiente irregularidad hidrológica.

La Confederación Hidrográfica del Segura (C.H.S.) se creó por Decreto-Ley en agosto de 1926, fue la segunda en España después de la del Ebro, constituida sólo unos pocos meses antes. Desde el primer momento se mejoró, en gran medida, el conocimiento de las características hidrológicas de la Cuenca y sus variaciones, gracias a los controles foronómicos que se establecieron en sus ríos, que fueron uno de los objetivos prioritarios. A lo largo de los años se ha ido mejorando el aprovechamiento más racional de los recursos hidráulicos con la realización de numerosas infraestructuras hidráulicas; no se puede olvidar la importancia que tiene para los aprovechamientos de la Cuenca los embalses reguladores de Fuensanta, Cenajo y Camarillas, y las obras de defensa de las presas de Argos y Santomera.

Pero ha sido especialmente en los últimos 30 años, cuando la C.H.S. ha construido infraestructuras hidráulicas de gran relevancia para hacer frente a la problemática de la Cuenca, concretamente: el postrasvase Tajo-Segura y el Plan de Defensas contra avenidas. Ambas son ejemplos, en su género, de tratamiento globalizado de soluciones a problemas complejos, que sirven de modelos para situaciones análogas tanto en España como en el resto del mundo. El que en una Cuenca Hidrográfica de apenas 19.000 Km² se hayan ejecutado infraestructuras hidráulicas de esta entidad refleja el alto nivel técnico que se ha alcanzado en la construcción de obras y la experiencia acumulada por el paso de los años por el Organismo de Cuenca.

Para acometer estas obras ha sido necesario que transcurriera un dilatado periodo de tiempo en el que se pudieran realizar los estudios previos con cierto grado de conocimiento, el planteamiento de distintas soluciones, el desarrollo de la programación y la ejecución de las obras, manteniendo siempre un equilibrio entre el coste de la inversión y el beneficio social que produce.

El Postrasvase Tajo-Segura

Toda la infraestructura hidráulica de distribución de caudales trasvasados desde el Tajo, a partir de su llegada al embalse de Talave (provincia de Albacete), se denomina Postrasvase Tajo-Segura y tiene como misión la mejora de 74.000 Ha de regadío infradotado, la creación de 52.000 Ha de nuevo regadío y suministrar agua para los abastecimientos urbanos. Esto último ha sido de vital importancia, ya que gracias a estas infraestructuras no se han resentido los consumos de agua potable durante todos estos años de escasez de aportación de recursos a los embalses de cabecera de la Cuenca. La inversión actualizada es de 41 mil millones de pesetas.

En la década de los setenta se construyó la infraestructura principal, con 285 Km de longitud de

canal, para caudales entre 30 y 7 m³/s, de los que 25 Km son de túneles, 24 Km de sifones y 7 Km de acueductos. Existen 4 elevaciones; la más importante la de Ojós, con una potencia instalada de 40.000 Kw y altura de 150 m de elevación.

La explotación de la infraestructura comenzó en 1980, después de unas pruebas de gestión iniciadas el año anterior, ha ido progresivamente repartiendo caudales por las diferentes zonas regables, previamente delimitadas por los Decretos de actuaciones de reforma y desarrollo agrario, y por las tomas de abastecimiento a través de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Como ya se ha dicho, providencial ha sido la existencia del postrasvase en cuanto al abastecimiento de poblaciones. En los últimos 20 años se ha producido una importante disminución de los recursos propios del Segura en las aportaciones hidráulicas a los embalses reguladores de la Cuenca, (principalmente ubicados en la provincia de Albacete), con apenas 314 Hm³ anuales (ver gráfico adjunto), que contrasta fuertemente con los 50 años anteriores, que tuvieron una aportación media anual de 573 Hm³, y que están siendo especialmente bajas en estos últimos 10, en los que la media de las aportaciones a los embalses se ha reducido a sólo 279 Hm³. La media anual aprovechable de 533 Hm³, que se contempla en la Ordenación de los regadíos del río Segura, del año 1953, que procedían del estudio de las aportaciones en los 25 años, desde 1927 a 1952, ha quedado totalmente desfasada hoy por hoy. Con mayor gravedad aún, está comportándose la sequía en los dos últimos años, en los que apenas se ha obtenido una aportación media anual de 200 Hm³.

La explotación del Postrasvase tiene unas peculiaridades propias. El agua del río Tajo llega al embalse de Talave, en la Cuenca del Segura, después de recorrer 292 Km y salvando un desnivel de 245 m. El embalse de Talave está situado en el río Mundo, afluente del Segura por su margen izquierda, y solamente tiene una capacidad de 35 Hm³; desde

allí el agua pasa al embalse de Camarillas, también en el río Mundo, ya muy cerca de su confluencia con el Segura, y de 36 Hm³ de capacidad. Este embalse se encuentra en la cabeza de los riegos propios de las Vegas, al igual que el embalse de Cenajo, en el Segura. El agua del trasvase pasa del embalse de Camarillas al río Segura por donde circula conjuntamente con los recursos propios de este río, en una longitud de 90 Km, hasta el Azud de Ojós, punto desde donde parten los dos grandes canales, el de la margen derecha y de la margen izquierda, para dar riego a las zonas definidas por los planes de transformación y sus correspondientes planes coordinados; y para abastecimiento de la Mancomunidad del Taibilla. Esta es una peculiaridad que está permitiendo disfrutar a las zonas ribereñas de ese tramo concreto del Segura, de un caudal circulante por el cauce, que es suma de la del propio río, recogido en sus cuencas vertientes, más el trasvasado desde el Tajo. A partir del Azud de Ojós, sólo vuelve a circular por el cauce del río su caudal propio, disminuido por los volúmenes derivados por los concesionarios de la zona alta del Segura durante las épocas de riego. Esta circunstancia, junto a la reducción en las aportaciones que se han producido en los embalses de cabecera de los recursos propios en estos últimos 20 años, ha acentuado la diferencia espectacular entre el caudal del río Segura aguas arriba y aguas abajo del Azud de Ojós. Como dato indicativo se señala que el año hidrológico pasado 1999/2000 se ha desembalsado de recursos propios del Segura 236 Hm³ y para los usuarios del Trasvase 499 Hm³ procedentes del Tajo. O sea, que aproximadamente por el tramo del río Segura desde los embalses hasta el Azud de Ojós ha pasado un caudal de 3 veces superior al correspondiente desembalsado exclusivamente para el río Segura.

Los volúmenes que se trasvasen en la primera fase de explotación del acueducto Tajo-Segura, se aplican de acuerdo con la distribución siguiente de dotaciones:

| Zonas | Hm ³ anuales |
|--|-------------------------|
| Regadíos: | |
| Vega Alta y Media del Segura | 65 |
| Mula y su comarca | 8 |
| Lorca y Valle del Guadalentín | 65 |
| Riegos de Levante, margen izquierda y derecha, Vegas Bajas del Segura y Saladares de Alicante. | 125 |
| Campo de Cartagena. | 122 |
| Valle del Almanzora, en Almería. | 15 |
| Total regadíos | 400 |
| Abastecimientos | 110 |

El órgano que resuelve sobre los trasvases a efectuar a la cuenca del Segura es la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, creada por R.D. 1982/1978, de 26 de julio. Cuando los volúmenes autorizados a trasvasar en origen no llegan al límite señalado en la Ley, el asignado a los regadíos se reparte proporcionalmente entre las Comunidades de Regantes en función de las dotaciones zonales anteriores.

El Postrasvase tiene como obra de regulación importante al embalse de la Pedrera, con 250 Hm³ de capacidad, en cola del Canal Principal de la M.I., y , a su vez, es cabeza de la zona regable del Campo de Cartagena. También se ejecutaron las obras del Depósito regulador de Crevillente, con 13,5 Hm³ que está al final del Canal de Crevillente, el embalse de Algeciras, con 50 Hm³, además de los de Alhama y Ojós, de menor entidad.

Desde el comienzo de la explotación se han trasvasado a la Cuenca del Segura 6.525 Hm³ desde Bolarque, en el Tajo, que se han distribuido por la infraestructura del Postrasvase.

Se vuelve a reiterar la inestimable importancia que la infraestructura del Trasvase ha tenido para la Cuenca del Segura, especialmente para el abastecimiento de las poblaciones dependientes de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, ya que de la atendida por ese Organismo un 65% ha sido aportado por el Trasvase Tajo-Segura.

Plan de Defensas contra Avenidas en la Cuenca del Segura

Las inundaciones de las Vegas por desbordamiento del río principal o sus afluentes importantes han sido de tal magnitud en muchas ocasiones han tenido repercusión incluso fuera de las fronteras de España, por haberse producido pérdidas de vidas humanas, además de bienes materiales. La avenida de 15 de octubre de 1879, a pesar de haberse producido en una época en la que los medios de comunicación no habían alcanzado la importancia que tienen hoy en día, fue conocida fuera de las fronteras españolas, llegándose a aportar desde el extranjero ayudas económicas. Aún hoy se recuerda esa tristemente famosa avenida de Santa Teresa.

A pesar de las obras de defensa que se construyeron en el primer tercio de siglo, presas de Talave, Fuensanta y Alfonso XIII, completadas con otras ejecutadas con posterioridad, presas de Cenajo, Camarillas, Argos y Santomera, las avenidas importantes, aunque con periodos de retorno más largo, se han seguido produciendo por desgracia.

La avenida ocurrida en 1973, en Puerto Lumbreras (Murcia), que ocasionó más de 90 muertos, motivó que el Gobierno de la Nación ordenase redactar un Plan de Defensas contra avenidas en la Cuenca del Segura, que quedó ultimado en 1977. La década de los ochenta fue especialmente proclive a lluvias torrenciales que ocasionaron avenidas y desbordamiento del río Segura e inundación de las zonas bajas de las Vegas. Concretamente en los años 1982, 1986, 1987, 1988 y 1989, especialmente durante los meses otoñales.

Mediante un Real Decreto-Ley, de noviembre de 1987, se adoptaron medidas urgentes para paliar los daños ocasionados por las avenidas y se ordenaba la realización de unas series de infraestructuras hidráulicas contempladas por el Plan de Defensas.

La solución adoptada por el Plan, una vez abandonada la idea de construir un nuevo cauce del río Segura que diese cabida a la avenida de 50 años de

periodo de retorno, por las dificultades que implicaría al afectar a numerosísimas infraestructuras existentes, fue la de adaptar el cauce del río Segura, desde la Contraparada hasta la desembocadura, para una capacidad que fuese la máxima que permitiera su paso por las ciudades de Orihuela y Rojales, que es de 400 m³/s, y corresponde a un periodo de retorno de 50 años, al ir complementada esta obra con la construcción de otras infraestructuras hidráulicas locales, fundamentalmente presas de laminación en varias ramblas afluentes al río Segura, que retengan las puntas de avenidas que se pueden producir y vayan permitiendo la salida del agua lentamente. Las ramblas de la Cuenca suelen ser de corta longitud pero de gran pendiente por lo que con lluvias de cierta intensidad se producen concentración de caudales altos en puntos determinados del cauce.

Las actuaciones realizadas en una primera fase alcanzaron a 23 obras distintas, con 60.000 millones de pesetas de inversión, de las que 54.000 correspondieron al Estado y 6.000 a la Comunidad Valenciana. Se han construido 12 nuevas presas y el recrecimiento de la presa de la Cierva; la ampliación del canal del Paretón de Totana; la ejecución de los encauzamientos del Reguerón y la rambla de Minateda, y el ya mencionado encauzamiento del río Segura, desde la Contraparada hasta Guardamar, para 400 m³/s.

Estas obras comenzaron en 1989 y terminaron en 1994. Tuvieron prueba de su buen funcionamiento con las lluvias torrenciales de finales de septiembre de 1997, los días 27, 28, 29 y 30. Las precipitaciones tuvieron intensidades y distribución geográfica análogas a las que produjeron avenidas extraordinarias con desbordamiento del río Segura durante los años ochenta.

Evolución de las lluvias

El día 27 comenzaron las precipitaciones, que fueron generalizadas en toda la Cuenca, con mayor intensidad en la zona de cabecera y valores medios de 42

l/m² en apenas 4 horas. En Valdeinfierno cayeron 31 l/m² en 2 horas.

Durante el día 28, continuaron las precipitaciones con carácter general. Este día destacaron las precipitaciones en las cuencas de los ríos Mula y Pliego, y en Almadenes del Segura con intensidades de 50 l/m² en hora y media, y 2 horas, respectivamente.

Las lluvias caídas saturaron las superficies vertientes de las ramblas y ramblizos, por lo que se iba favoreciendo la esorrentía natural hacia los cauces principales. A las cero horas del día 29, el río Segura a su paso por Calasparra llevaba 25 m³/s y unos 11 m³/s por la Contraparada.

Ese mismo día 29 arreciaron las precipitaciones y se mantuvieron con generalidad en el territorio. En Liétor (Albacete) cayeron 112 l/m² en 3 horas; en Moratalla (Murcia) 120 l/m², en 10 horas, con la mayor intensidad de casi 90 l/m² en 1 hora en el embalse de la Pedrera.

También el día 29 la situación en la Cuenca era análoga a las que en otros momentos habían producido graves avenidas e inundaciones en el Segura. El tiempo sigue cerrado y con lluvia, y el suelo se encuentra totalmente empapado. A las 6 y media de la tarde del día 29 el río Moratalla aporta 70 m³/s al Segura, que va a llegar a dar una punta de 112 m³/s a las 2 de la mañana del día 30. Durante este día continuaron las lluvias con precipitaciones de más de 40 l/m² en 5 ó 6 horas en Cenajo, Talave, Liétor.

Gran efectividad han demostrado en la laminación de esta avenidas la nueva presa de Pliego y el recrecimiento de la presa de la Cierva, así como la ampliación del canal de derivación del río Guadalentín en el Paretón de Totana, además de, por supuesto, el nuevo encauzamiento del río Segura desde la Contraparada hasta Guardamar con capacidad para caudales hasta los 400 m³/s.

La onda de avenida que se produjo en el río Pliego y que retuvo en el embalse, se produjo desde las 8 h 15 m a las 11 h 15 m del día 30, con un caudal medio de 119 m³/s (el caudal punta llegó a los 230 m³/s). La

presa de la Cierva retuvo una punta máxima de 185 m³/s y un caudal medio de 127 m³/s, desde las 8,00 h a las 11 h 30 m, del mismo día 30. De no haber quedado retenidos esos caudales habrían llegado al Azud de la Contraparada coincidiendo con el que circulaba por ese punto procedente de las ramblas no reguladas del río Segura, que ascendía a 156 m³/s, desde las 17,00 h a las 19,00 h, (el caudal máximo fue de 174 m³/s a las 19 h 30 m), lo que hubiese dado un caudal suma del orden de los 400 m³/s, límite de capacidad del nuevo encauzamiento. En el Paretón de Totana se derivó un caudal medio de 184 m³/s desde las 3 h 30 m a las 8,00 h del día 1. De haber coincidido este caudal derivado con los retenidos por las presas anteriores y con el que circuló por Beniel (comienzo de la Vega Baja, se hubiese presentado en ese punto una avenida del orden de los 500 m³/s, causando las nefastas inundaciones por desbordamiento del río Segura en las Vegas Media y Baja, de tan perniciosas consecuencias.

Esta nueva situación, de mejora frente al riesgo de inundación, que pasó inadvertida para gran parte de la población de la Cuenca, fue curiosamente detectada y agradecida por parte de los municipios de la Vega Baja; tal vez, como zonas que son más sensibles a las inundaciones como las que se produjeron en los años ochenta.

Situación actual de las obras del Plan de Defensas

Actualmente se encuentra terminada la fase del Plan de Defensas contenida en el Real Decreto-Ley de 1987. Están en ejecución las presas de Moratalla y la Risca, en el río Moratalla; y pendientes de construcción la presa de Rambla Salada, y para una pronta licitación las de las ramblas afluentes al Segura en las Vegas Media y Baja.

Modernización de los Regadíos de las Vegas

El sistema de riegos de los regadíos tradicionales de las Vegas Media y Baja del Segura se viene utili-

zando desde tiempos muy antiguos. A consecuencia de la forma en que se establecieron, las zonas próximas a las tomas tienen una serie de privilegios, por lo que en las colas de algunas acequias hay dificultades para regar en épocas normales de existencias de recursos. La mayor parte del riego se efectúa de día, dejando discurrir por la noche las aguas a los azarbes de avenamiento, que vierten al río o a otras acequias.

Existen superficies de terreno en la Vega Media que no se pueden regar más que represando las aguas en las acequias mayores; este remanso se llama "rafa", y existen varios. También existen derecho a formar "regolfo" para remansar aguas para crear altura de agua y poder elevar a cotas superiores.

En total el río Segura tiene un recorrido de 125 Km por la Vega Alta, y en él hay instalados 23 azudes de derivación que dan origen a 11 acequias por la margen derecha y 13 por la izquierda. La longitud de las acequias principales es de unos 300 Km, generalmente con cauces muy anchos, con capacidad muy superior a la necesaria. La proliferación de tomas en el río es consecuencia del establecimiento cronológico de los diferentes regadíos escalonados.

Por la Vega Media tiene el Segura un recorrido de 29 Km, con un solo azud de derivación para riego con dos acequias mayores, pero una enmarañada red de acequias, de las cuales las más importantes suman 27 en la margen derecha del río y 19 por la margen izquierda, y con una cantidad muy considerable de acequias secundarias. La longitud de las acequias principales sobrepasa los 300 Km y la red de acequias secundarias sobrepasan los 1.000 Km.

En la Vega Baja, el río Segura discurre en 39 Km de longitud, existiendo en este trayecto 12 azudes de derivación que dan lugar a 12 tomas por la margen izquierda y 7 por la derecha. La longitud total de las acequias principales es de más de 280 Km. Existen zonas que no riegan directamente del río Segura y sí lo hacen de los azarbes (cauces de aguas muertas), que se convierten en cauces de aguas vivas (acequias); inclu-

so hay azarbes que sin convertirse en aguas vivas dan riego.

La Modernización de los regadíos de la Vega Media, actualmente en un avanzado estado de ejecución, consiste en la construcción de dos conducciones de cintura, en ambas márgenes del río Segura, que dominan prácticamente la totalidad del regadío y establecen las conexiones necesarias con las cabeceras de las entidades de riego correspondientes, y así no alterar el uso del agua en los Heredamientos, con lo que se consigue un efecto muy beneficioso al tener el riego mejor garantizado una vez las entidades de riego ajusten sus Ordenanzas a la Ley de Aguas en vigor. De los dos canales de cintura se han establecido las tomas necesarias para suministrar los caudales. En cualquier caso se procura mantener la idiosincrasia y modo de riego de las actuales acequias. Paralelamente a las conducciones se están construyendo una red de caminos de servicio acorde con la entidad de las obras. La inversión realizada hasta la fecha asciende a 7.000 mil millones de pesetas.

Actualmente se está redactando por la Generalitat Valenciana, a través de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, y la Dirección General de Obras Públicas, el Estudio, y redacción del Proyecto de Modernización de los Regadíos de la Vega Baja del Segura, según el sistema de alimentación por tercios, para facilitar el riego a todas las acequias, análogamente a la Vega Media.

Proyecto del Plan Hidrológico Nacional

El pasado día 5 de septiembre el Gobierno de la Nación ha presentado al Consejo Nacional del Agua, para su debate y emisión de informe, el Proyecto del Plan Hidrológico Nacional, que deberá ser aprobado por Ley de las Cortes y que es el único que puede permitir trasvases intercuenas. En este Proyecto se contempla que con la infraestructura existente no es posible atender correctamente las demandas en la Cuenca del Segura-Almería, aunque se aporten recursos exter-

nos en cuantía ilimitada. Y prevé dos posibilidades de nuevas infraestructuras hidráulicas en la Cuenca , independientemente de la fundamental infraestructura de trasvase intercuenas cuya magnitud merecerá por si sola un capítulo aparte en su momento, que son:

- Incrementar la capacidad de aporte hasta el embalse de Algeciras y Almería, bien recreciendo el canal de la margen derecha del postrasvase, bien habilitando la conexión Talave-Cenajo-Canal Alto de la Margen Derecha.

- Realizar un nuevo esquema de circulación litoral: La Pedrera-Campo de Cartagena-Mazarrón-Águilas-Almería.

Las infraestructuras hidráulicas, como elementos de transporte, regulación y distribución de recursos, para una mejor racionalización y gestión hídrica en la Cuenca del Segura es claro que van a seguir teniendo en los años venideros una gran importancia.

Uso de residuos en depuración de efluentes de industrias conserveras

▮ **Osorio, F.; Gómez, M.A.; Pérez, J.I. Moreno, B. y Zamorano, M.**

Grupo de Microbiología Ambiental y Tecnologías del Medio Ambiente
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Departamento de Ingeniería Civil, Área de Tecnologías del Medio Ambiente
Universidad de Granada

Introducción

Algunos problemas relacionados con el sistema de fangos activos, uno de los más utilizados en la depuración biológica de aguas residuales, pueden ya calificarse de tradicionales, como por ejemplo el bulking (1). Además, con este sistema son necesarios grandes volúmenes de reactor si se pretende la consecución de objetivos exigentes en eliminación de contaminantes, como debe ser en el tratamiento de efluentes industriales, donde la minimización de superficie necesaria aparece esencial. Estos dos condicionantes constituyeron las razones fundamentales que impulsaron el estudio de sistemas de filtros biológicos sumergidos aireados (6, 9).

Durante los últimos años, se han llegado a optimizar y patentar distintos Filtros Biológicos Aireados Inundados, FBAI (2, 3). Los medios soporte de la biopelícula más estudiados han sido los de naturaleza arcillosa, esquistosa o distintos tipos de plásticos: Polietileno, Poliestireno, etc. (10). En el caso de nuestro Grupo, la investigación sobre sistemas compatibles con una conservación adecuada y racional del Medio

Ambiente, nos llevó a estudiar los FBAI, iniciándose a finales de la década de los ochenta, pero utilizando materiales de desecho, con el consiguiente beneficio para toda la comunidad (4).

Así, se comenzó a trabajar con un material de naturaleza cerámica (presentando buena adsorción), y un material plástico (presentando escasa densidad, favorable para lograr menores consumos energéticos durante la operación del lavado). En aras de alcanzar la optimización del sistema, se estudió el funcionamiento conjunto en un mismo relleno de ambos materiales. Por tanto, este relleno se formó con dos capas, dentro de un mismo reactor, y que dimos en llamar Relleno de Doble Capa (5).

En cuanto al paso de agua residual a través de un filtro, en ausencia de suministro de oxígeno, diversos investigadores han dedicado esfuerzos a su estudio (7). Normalmente, los objetivos de estas filtraciones a través de un medio granular poroso, se enfocan a su implantación como tratamientos terciarios. En efecto, con cargas hidráulicas de operación muy reducidas, en torno a 0,3 m/día (8), es frecuente el uso de la filtración buscando la desinfección.

Nuestro filtro de arena fue sometido a un caudal similar al del FBAI, con lo que el mínimo aplicado, fue muy superior a este umbral. Así, al inicio de los estudios, queríamos conocer la aportación exacta del filtro de arena al conjunto del sistema, y teniendo en cuenta que el sistema de lavado no era continuo, sino que tenía lugar, al igual que en el filtro biológico, al alcanzar las pérdidas de carga un determinado nivel.

Materials y métodos

Métodos estadísticos

Las herramientas usadas en el examen y la interpretación de los datos consistieron, principalmente, en: análisis de regresión simple y análisis de la varianza multifactor (ANOVA). El análisis multivariante se consideró el idóneo para el estudio sistemático de distintas fases de trabajo desarrolladas a lo largo de toda la investigación. Se analizaron los niveles de salida de varios contaminantes del agua, covariando con las cargas volumétricas de los mismos aplicadas a los distintos reactores y etapas del proceso depurador.

Descripción de la planta piloto

La planta piloto utilizada consta de dos columnas de metacrilato, de 30 centímetros de diámetro cada una. La primera de ellas constituye el receptáculo para el material soporte de los lechos inundados y que actuará como reactor biológico aireado, mientras la segunda albergará el filtro de arena para afino. Ambas columnas se sitúan sobre una mesa elaborada con planchas de PVC especial de alta resistencia. Las columnas alcanzan la altura de 3,7 y 3,3 metros en el FBAI y el filtro de arena, respectivamente. El equipo informático que incorpora la planta se encuentra facultado para determinar, en tiempo real, los valores que alcanzan en cada instante los parámetros y variables consideradas,

en ambas columnas, y posibilitando, por otra parte, el control remoto del funcionamiento.

El esquema de la Figura 1 refleja el diagrama de flujos en la planta piloto:

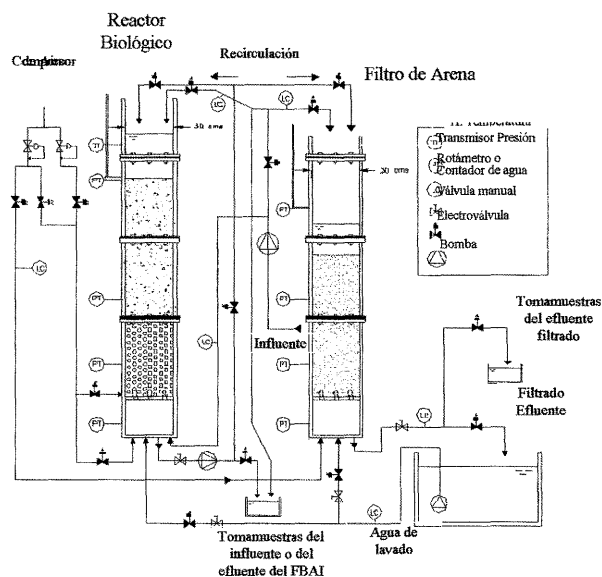


Figura 1. Diagrama esquemático de la planta piloto.

Materiales de relleno utilizados

Se quiere incidir en que todos los materiales de relleno que se han utilizado son residuos, con lo que se consigue el aprovechamiento de desechos. En primer lugar, se usó un soporte procedente de la industria cerámica, que se obtuvo tras un machaqueo del residuo. Tras varios ensayos, se comprobó que el tamaño de las partículas idóneo estaba comprendido entre 2-5 mm. El material tiene una densidad relativa real 2,18 gr/cm³. El otro material utilizado de relleno es de tipo plástico, polietileno, y procedente del reciclado del material de cubrición de invernaderos. Su densidad relativa real es de 0,92 gr/cm³ y el tamaño de las partículas es homogéneo, de 5 mm. Finalmente, la arena utilizada para la fase de afino posterior al reactor biológico, es similar a la usada en la etapa de filtración de las estaciones de tratamiento de aguas potables. De su naturaleza silíceas, se deriva su gran densidad relativa real de 2,65 gr/cm³, siendo el tamaño mayor de partícula de 2,5 mm.

Aguas brutas utilizadas

El influente que alimenta la planta piloto procede de la Decantación primaria de la Estación depuradora de Granada (España).

Las cargas volumétricas aplicadas se fueron incrementando con el paso del tiempo, variando para este propósito el volumen de agua introducida al sistema. Como muestra de las características de las aguas brutas y cargas aplicadas, se recogen en la Tabla 1 las correspondientes a las distintas fases de operación que posteriormente se describen:

Los parámetros que se midieron o fueron calculados operando con los valores adoptados por las variables u otros parámetros, fueron las que siguen: kg O₂/kg DBO_{5, eliminada}; SS (mg/L); DBO₅ total (mg/L); DQO total (mg/L); pH; Carga hidráulica (m³/m²/h), con reactor vacío; carga volumétrica de DBO₅ (Kg BOD₅/m³/d).

Se operó en dos fases diferentes, con flujo co-corriente y flujo contra-corriente, respectivamente. Durante los lavados, los flujos de aire y agua se realizaron a contra-corriente. La toma de muestras se llevó a cabo con una periodicidad diaria.

Tabla 1
Características del influente de la planta piloto, para los distintos periodos de estudio del Biofiltro de DOBLE CAPA

| Parámetro | Flujo contra-corriente | | | Flujo co-corriente | | |
|---|------------------------|--------|------------------|--------------------|--------|------------------|
| | Mínimo | Máximo | Media aritmética | Mínimo | Máximo | Media aritmética |
| DQO (mg/L) | 390 | 598 | 507 | 297 | 609 | 488 |
| DBO ₅ (mg/L) | 180 | 340 | 255 | 130 | 310 | 243 |
| SS (mg/L) | 96 | 148 | 116 | 60 | 208 | 106 |
| Carga vol. DQO (Kg.DQO/m ³ /d) Arithmetical average | 3,21 | 13,78 | 8,03 | 2,50 | 16,96 | 9,20 |
| Carga vol. DBO ₅ (Kg.DBO ₅ /m ³ /d) Average deviation | 1,61 | 6,88 | 4,00 | 1,09 | 8,44 | 4,60 |
| Carga vol. SS (Kg.SS/m ³ /d) | 0,70 | 3,21 | 1,84 | 0,83 | 3,50 | 1,94 |

Procedimiento experimental

Para el presente estudio, la principal variable usada para variar las condiciones de los distintos ensayos fue el caudal del influente (m³/h), y una de las variables que fue fijada al inicio, fue el caudal de aire de proceso. Con el objetivo de conseguir un máximo del valor del consumo de oxígeno en torno a 1,2 kg O₂/kg DBO_{5, eliminada} (para cargas volumétricas intermedias entre aquellas que se aplicaron), el volumen de aire suministrado se fijó en 0,13 kg O₂/h (7.26 Nm³/m² /h de aire).

Entre las conclusiones de la tesis doctoral de Francisco Osorio (1998) se encontró que la altura óptima para un material cerámico se situaba dentro de la horquilla 1,2-1,5 m. Para el relleno de doble capa, se usó una altura total del lecho de 1,3 m, de los que los 0,7 m de la parte superior la ocupó el material cerámico, y los 0,6 m inferiores los ocupó el material plástico.

Para el afino, se optó por fijar una altura del filtro de arena de 0,75 metros, que se escogió tras unos ensayos previos de choque, antes de iniciar la investigación definitiva.

Resultados y discusión

Parámetros de diseño para el relleno de doble capa

Puesto que los rendimientos de eliminación de contaminantes resultaron inferiores con flujo co-corriente, respecto al contra-corriente, únicamente se presentan resultados de esta fase del estudio. Realizando un amplio análisis sistemático con todos los datos disponibles, se comprobó que a igualdad de superficie de FBAI, y con las concentraciones de contaminantes típicas tras una decantación primaria, la concentración en DBO₅ aparecía más restrictiva, en cuanto a requerimientos superficiales del filtro sumergido, que la de SS. Los objetivos marcados fueron los de alcanzar, tras esta primera etapa, 35 mg/L de SS y 25 mg/L de DBO₅ en el efluente.

La Figura 2 muestra los resultados obtenidos, en concentración de salida de DBO₅, tras el paso del agua por esta primera etapa del proceso.

que queremos obtener en el agua tratada por el relleno de doble capa con flujo contra-corriente. Después fijaremos las concentraciones finales deseadas en el agua tratada por el filtro de arena. Con estas últimas concentraciones, y entrando en las Figuras 3 y 4, se tendrían las cargas volumétricas máximas de DBO₅ y SS, respectivamente, que hemos de aplicar en el filtro de arena. Como las concentraciones de DBO₅ y SS de salida del relleno de doble capa ya se habían fijado, con éstas y las cargas volumétricas de entrada al filtro de arena (obtenidas de las Figuras 2 y 3), se tiene la superficie necesaria de filtro de arena.

Los aceptables coeficientes de correlación obtenidos en estos ajustes, que aparecen en las Figuras 2 y 3, denotan la gran estabilidad y flexibilidad del funcionamiento del filtro de arena. Este comportamiento es aún más fiable y seguro que el del FBAI.

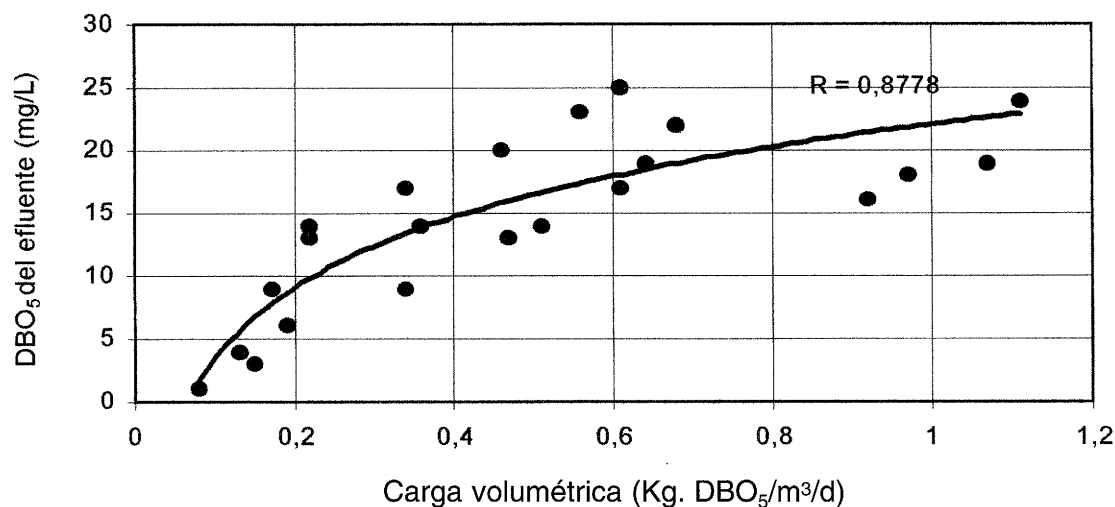


Figura 2. Relación Concentración de DBO₅ en el efluente del Filtro Biológico de Doble Capa-Carga volumétrica aplicada de DBO₅.

Contribución del filtro de arena:

Diseño de un proceso compacto

Para el diseño del conjunto FBAI más Filtro de Arena, se procedería del siguiente modo: Primero se han de fijar las concentraciones de contaminantes

Síntesis de conclusiones

Con respecto a las cargas de trabajo, se alcanzaron sistemáticamente concentraciones inferiores a 25 mg DBO₅/L en el efluente del FBAI, independientemente de las cargas volumétricas de DBO₅ aplicadas. En

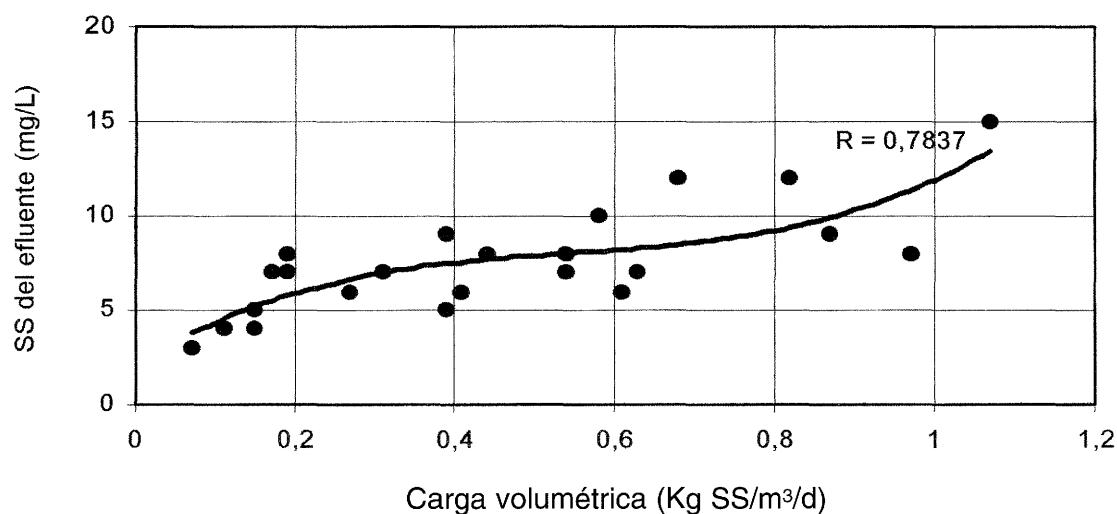


Figura 3. Variación en la Concentración de SS en el efluente del Filtro de Arena con la carga volumétrica de SS aplicada al filtro de arena.

cuanto al filtro de arena, la reducción en la concentración de salida tras el filtro de arena, no es excesivamente relevante respecto al parámetro DBO_5 ; sin embargo, se observa en los resultados del parámetro SS, que el sistema tendió bajo cualquier carga aplicada, a estabilizar la concentración de salida en torno a 7 mg SS/L, alcanzándose valores en muchas ocasiones, incluso inferiores.

En definitiva, existe una amplia gama de aplicación del sistema conjunto que se plantea. Se puede optar por un tratamiento con un FBAI sin el concurso de un filtro de arena, mientras que la implementación de éste logra un afino del efluente del proceso secundario.

Desde el punto de vista de la aplicación práctica, es claro que la disposición de un filtro de arena más extenso va en perjuicio de las necesidades superficiales, pero supone mínimos costes de explotación y facilita, sobre todo respecto al parámetro SS, una contribución importante al FBAI y una mayor estabilidad de la contaminación del efluente.

Bibliografía

(1) Blackbeard, J.R., Ekama, G.A. y Marais, G.R.

(1986). A survey of filamentous bulking and foaming in activated sludge plants in South Africa. *Water Pollution Control*. 1, 90-100.

(2) Gros, H. y Álvarez, J. (1991). Tratamiento biológico de aguas residuales urbanas por biofiltración sobre material granuloso y nitrificación sobre soporte sumergido. *Tecnología del agua* 86, 58-65.

(3) Harsman, E. H., Roelevel, P. J. y Rensink, J. H. (1997). High nutrient removal in the 3-sludge sewage-treatment system results and economic evaluation. *Water Science Technology* 35 (10), 129-136.

(4) Osorio, F., Zamorano, M., Gómez, M.A., Moreno, B., Pérez, J.I., González-López, J. y Hontoria, E. (1999). Utilización de residuos reciclados como soporte de lechos inundados. *Jornadas Internacionales de Ingeniería Ambiental de Cartagena (Murcia)*.

(5) Osorio, F. (1999). Depuración de aguas residuales mediante un filtro biológico aerobio e inundado, con relleno de doble capa. *TECNO-AMBIENTE* Vol. 93, 37-40.

(6) Partos, J., Richard, Y. y Amar, D (1985). Removal de la pollution carbonée sur cultures fixées aerobies. *TSM* 4, 193-198.

- (7) Pell M. and Nyberg F. (1989) Infiltration of wastewater in a newly started pilot sand-filter system: I. Reduction of organic matter and phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 18, 451-457
- (8) Salgot M., Brissaud F. and Campos C. (1996) Disinfection of secondary effluents by infiltration-percolation. *Water Science Technology* 33 (10-11), 271-276
- (9) Strohmeier, A. y Schroeter, I. (1993). Experiences with biological filtration in advanced wastewater treatment. *Proc. of European Water Filtration Congress, Ostend*, 12 p.
- (10) Tschui, M., Boller, M., Gujer, W., Eugster, J., Mäder, C. y Stengel (1993). Tertiary nitrification in aerated pilot biofilters. 2nd Intern. Specialized Conference on Biofilm Reactors, September, Paris, France, 109-116.

Experiencias de aplicación de lechos inundados para la gestión de recursos hídricos en zonas semiáridas

▮ **Osorio Robles, Francisco**

Grupo de Microbiología Ambiental y Tecnologías del Medio Ambiente

E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería Civil, Área de Tecnologías del Medio Ambiente

▮ **Saá Gamboa, Guillermo; Estay Low, Aliro**

Dirección de Investigación, Postgrado y Postítulos. Universidad de La Serena. Región de Coquimbo (Chile)

Introducción

En todos los países en general y en los que se enmarcan en el ámbito del Mercosur en particular, el fuerte desarrollo demográfico experimentado en el último siglo, ha provocado un incremento en la demanda de recursos hídricos. Además, paralelamente a este aumento de población, hay que contar con la tremenda movilidad que impera en la sociedad actual, lo que repercute muy negativamente en la explotación de plantas depuradoras, pues las cargas contaminantes son muy variables. Este fenómeno de movilidad y necesidad acuciante de implementar sistemas de depuración flexibles, que se adapten a esta enorme fluctuación de cargas contaminantes y estacionalidad de la contaminación, tiene una gran relevancia en la comarca de La Serena, dado el crecimiento espectacular del turismo experimentado últimamente, y cuyas previsiones futuras indican una evolución al alza.

En el caso concreto de La Serena, Chile, debido a su ubicación, ésta se caracteriza por ser una zona semiárida y, es por ello que la desertización, el aprovechamiento de los recursos naturales y, específicamen-

te, el aprovechamiento de los recursos hídricos, son factores determinantes para el desarrollo de las actividades productivas de la región en la que se encuentra.

Pero el problema de la contaminación de las aguas no se circunscribe a la cantidad, sino que se extiende a la calidad. Este aspecto tiene que valorarse especialmente en La Serena, ya que se trata de una zona en la que es frecuente la actividad del baño y, por tanto, muy sensible a los vertidos. De otro lado, una de las fuentes de riqueza esenciales para el Valle del Elqui consiste en las explotaciones agrícolas. También en este campo cabe esperar aún un mayor desarrollo en el futuro, con la entrada en servicio del Embalse de Puclaro. La tendencia que se experimenta en la actualidad es la de la industrialización de estas explotaciones. Este proceso de tecnificación incipiente y progresiva lleva aparejado un incremento masivo en el uso de fertilizantes inorgánicos; en este sentido, no hay que olvidar que Chile se encuentra entre uno de los países de mayor producción mundial en el sector.

En definitiva, en los últimos años no sólo han aumentado considerablemente los caudales a tratar, sino que también es de esperar un excesivo aporte de

contaminantes al medio tales como materia orgánica y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). Como consecuencia de este desarrollo se vierten al medio natural una cantidad de desechos que éste nos es capaz de asimilar, rompiéndose el equilibrio ecológico y causando problemas de contaminación. Junto con estos problemas surge una merma en los recursos hídricos que precisa de una búsqueda de soluciones entre las que destacará en el futuro la eliminación de nutrientes, que posibilite la reutilización de aguas para nuevos usos.

Descripción de los filtros sumergidos o inundados

Conceptos generales

Los procesos biológicos que tienen lugar en la depuración de aguas residuales tienen por objeto la eliminación de la contaminación del agua mediante microorganismos, y pueden incluso llegar a participar en el proceso organismos superiores. Las reacciones y procesos se producen en un lugar denominado Reactor Biológico, donde se deben mantener condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de estos organismos y alcanzar así los rendimientos esperados.

En algunas ocasiones se le suministra oxígeno al sistema, denominándose entonces sistema aerobio; en caso contrario, el sistema es facultativo o anaerobio. El consumo de la materia carbonada contenida en el agua (sustrato) y los nutrientes tiene como consecuencia el desarrollo de organismos (biomasa). Para mantener esta biomasa en el reactor, existen dos métodos básicos:

- Cultivo suspendido: los organismos se encuentran en suspensión en el agua, y por lo general se necesita una recirculación de una parte de éstos tras su separación del efluente tratado, posterior al crecimiento descrito y a la sedimentación de flóculos de biomasa en un tanque situado adelante del reactor biológico.
- Cultivo Fijo o Biopelícula: fijación a un medio

material o soporte, que debe ser resistente a la abrasión, quedando la biomasa retenida en el reactor.

En un Filtro biológico se conjugan entonces 2 funciones básicas:

- Retención de sólidos en suspensión.
- Fijación y crecimiento de la biomasa, que se encargará de la eliminación de la contaminación soluble y disuelta.

En los filtros biológicos aireados inundados coexisten tres estados de la materia:

- Fase Sólida, constituida por el material de soporte.
- Fase Líquida, en la que se encuentra sumergido el material y que será renovada constantemente por el paso del agua residual.
- Fase Gaseosa, creada por la introducción de aire en el medio.

El lavado

Al tiempo que un filtro se encuentra operativo, éste se va colmatando por efecto, de una parte, de los sólidos retenidos, y de otra, del crecimiento de la biomasa. La consecuencia es la ocupación de los espacios libres, peligrando el espacio aerobio del filtro, así como el paso regular del efluente, pues la pérdida de carga va aumentando con el tiempo en el reactor. En definitiva, es necesario periódicamente el lavado de los filtros. El agua de lavado se toma de una cuba o depósito que almacena una fracción del efluente depurado.

Posibilidades de reutilización del agua residual

Las posibilidades de reutilización del agua residual tratada mediante el sistema de lechos inundados son bastantes amplias, dados los elevados rendimientos de depuración que es capaz de alcanzar. En concreto, los rendimientos esperados son los reflejados en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1
Rendimientos mínimos alcanzables con un sistema de lechos inundados

| Parámetros | Concentración | Porcentaje mínimo de reducción |
|--|-------------------------|--------------------------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20°C), sin nitrificación | 25 mg/L O ₂ | 70 – 90 |
| Demanda química de oxígeno (DQO) | 125 mg/L O ₂ | 75 |
| Total de sólidos en suspensión | 35 mg/L | 90 |

Una vez alcanzados estos rendimientos de eliminación de contaminantes en el agua residual, los usos posteriores a los que puede destinarse son diversos. En orden creciente de calidad, pueden enumerarse los siguientes:

- Necesidades agrícolas (riegos).
- Riego de parques y jardines urbanos.
- Refrigeración industrial.
- Necesidades de servicios urbanos.
- Preservación del medio biótico del medio receptor.
- Recirculación en la industria.
- Recarga de capas acuíferas.
- Piscicultura.
- Redes alternativas contra incendios en polígonos industriales.

En última instancia, y con el complemento de tratamientos terciarios adecuados, puede llegarse al uso doméstico e, incluso, al consumo humano.

Descripción de la planta piloto a implantar en La Serena, Chile

Como se aprecia en la Figura 1, la planta piloto consta de una columna, de material acrílico. El diámetro interior de la columna es de 30 centímetros. Este tubo constituye el receptáculo para el material soporte del lecho. La planta dispone de diversos instrumentos que permiten unos elevados niveles de control del proceso.

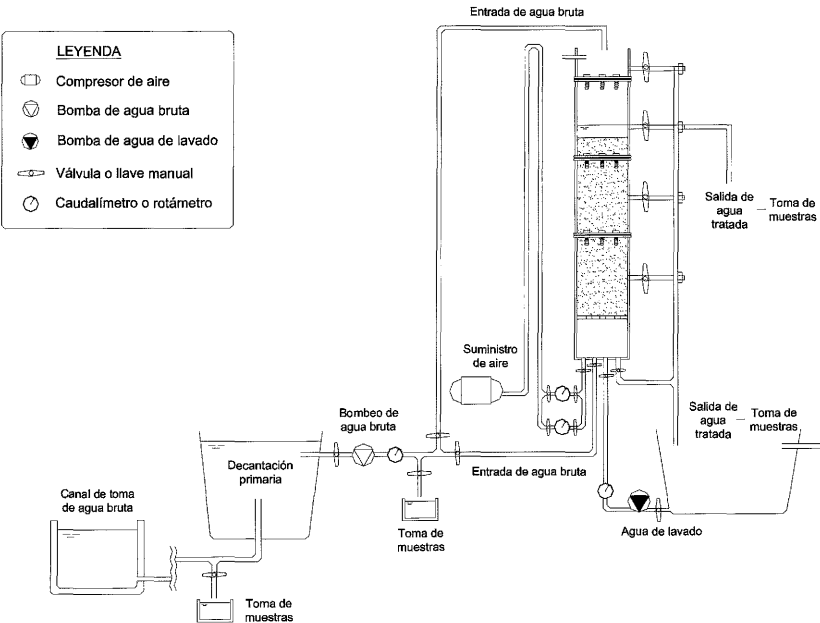


Figura 1. Diagrama esquemático de la planta piloto.

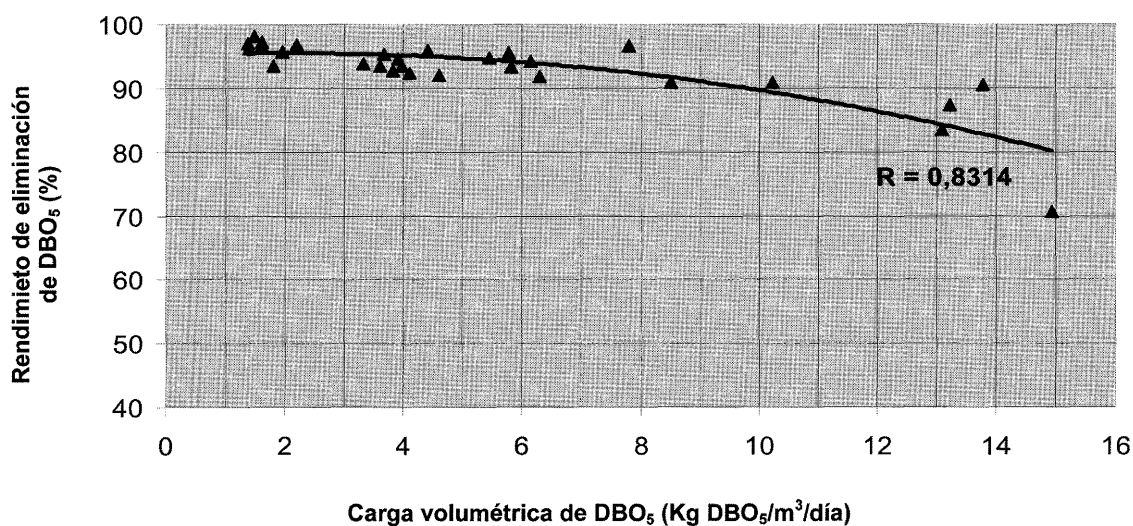


Figura 2. Relación rendimiento de eliminación de DBO₅ en el biofiltro-carga volumétrica de DBO₅ aplicada al biofiltro.

Resultados previos obtenidos

Los resultados previos obtenidos muestran la potencialidad que ofrece el sistema (Figura 2). Para estos estudios se utilizó un material soporte de naturaleza cerámica. El agua bruta introducida al sistema consistía en un efluente primario de una planta de tratamiento convencional de aguas residuales urbanas de fangos activos.

La gráfica muestra que para cualquier carga volumétrica de DBO₅ que se aplicó al Reactor biológico de lechos inundados, los rendimientos de eliminación obtenidos se mantuvieron en niveles inferiores al 80%. Si esta misma carga volumétrica aplicada no sobrepasaba los 10 Kg DBO₅/m³/día, entonces el rendimiento medio alcanzado se cifraba ya en más del 90%.

Referencias bibliográficas

Boller, M.; Kobler, D. and Koch, G. (1997). Particle separation, solids budgets and headloss development in different biofilters. *Water Science Technology* 36: 239-247.

Cecen, F and Orak, E. (1996) Nitrification of fertilizer wastewater in a biofilm reactors. *Journal Chemical*

Technical Biotechnology 65: 229-258.

Chui, P.C.; Terashima, Y.; Tay, J.H. and Ozaki, H. (1996). Performance of a partly aerated biofilter in the removal of nitrogen. *Water Science Technology* 34:187-194.

Gros, H y Alvarez J. (1991). Tratamiento biológico de aguas residuales urbanas por biofiltración sobre material granuloso y nitrificación sobre soporte sumergido. *Tecnología del Agua* 86:58-65.

Inamory, Y.; Takay, Y.; Yamamoto, Y.; Kayagai, N.; Sankay, Y. And Hirata, A. (1996) Sludge production characteristics of small-scale Wastewater treatment facilities using anaerobic / aerobic biofilm reactors. *Water Science Technology* 34: 379-390.

Jansen, J. C.; Jepsen, S. E. and Laursen, K. D. (1994). Carbon utilisation in denitrifying biofilters. *Water Science Technology* 29:101-109.

Liu, Y. And Capdeville, B. (1996) Specific activity of nitrifying biofilm in water nitrification process. *Water Research* 30: 1645-1650.

Meaney, B. J. And Strickland, E. T. (1994) Operating experiences with submerged filters for nitrification and denitrification. *Water Science Technology* 29:119-126.

Osorio, F. (1999) Depuración de aguas residuales mediante un filtro biológico aerobio e inundado,

con relleno de doble capa. Tecno-Ambiente. Revista N° 93 – Año IX.

Osorio, F.; Zamorano, M.; Gómez, M.A.; Moreno, B.; Pérez, J.; Gonzálz-López, J. y Hontoria, E. (1998) Utilización de residuos reciclados como soporte de lechos inundados. Jornadas Internacionales de Ingeniería Ambiental, Cartagena (España).

Las condiciones de acceso a las redes en un entorno competitivo.

Implicaciones para la puesta en marcha del "mercado de aguas"

■ **Martín Sevilla Jiménez**

Dpto. de Economía Aplicada y Política Económica. Universidad de Alicante

■ **Julián López Milla**

Dpto. de Análisis Económico Aplicado. Universidad de Alicante

Introducción

La Ley 46/1999¹, que modifica la Ley de Aguas de 2 de agosto de 1985, establece que "los concesionarios o titulares de algún derecho al uso privativo de las aguas podrán ceder con carácter temporal a otro concesionario o titular de derecho de igual o mayor rango (...) la totalidad o parte de los derechos de uso que les correspondan", y que tales cesiones "podrán conllevar una compensación económica que se fijará de mutuo acuerdo entre los contratantes y deberá explicitarse en el contrato". A nadie se le escapa que la aprobación de estas disposiciones abre la puerta para la creación de un "mercado de aguas", que aunque nace sujeto a importantes limitaciones, puede servir como instrumento para introducir nuevas pautas en la utilización de los recursos hídricos disponibles².

Las infraestructuras de transporte van a desempe-

ñar una función esencial en este nuevo contexto, pues cabe prever que si sus propietarios no las ponen a disposición de todos los posibles usuarios no va a ser posible que se desarrolle un mercado como el que se pretende poner en marcha. Para ello, no basta con establecer un régimen de libertad de acceso. También hace falta que las tarifas y las demás condiciones de acceso³ sean "equilibradas".

En este trabajo, se va a examinar esa cuestión a la luz de algunos de los argumentos que se suelen emplear en el ámbito de la Economía Industrial. El problema que se plantea cuando una actividad requiere el uso de una infraestructura de transporte que está en manos de una empresa que la gestiona en régimen de monopolio y que, además, puede llevar a cabo la actividad que se realiza a partir de dicha infraestructura ha sido ampliamente analizado en la literatura económica. De hecho, se trata de una situación que se presenta con frecuen-

1. BOE, 14 de diciembre de 1999.

2. De hecho, en la exposición de motivos de la Ley 46/1999 se afirma que la introducción de los nuevos contratos de cesión de derechos al uso del agua va a servir para lograr objetivos tan ambiciosos como "potenciar la eficiencia en el empleo del agua" y "optimizar socialmente los usos de un recurso tan escaso".

3. La Ley 46/1999 se limita a señalar que "cuando la realización material de las cesiones requiera el empleo de instalaciones o infraestructuras hidráulicas de las que fuesen titulares terceros, su uso se establecerá por libre acuerdo entre las partes".

cia en sectores como los del gas, la electricidad, las telecomunicaciones o el transporte ferroviario, en los que operan empresas que desarrollan sus actividades en torno a una red y se suele argumentar que el monopolio aparece de forma natural.

Algunos autores consideran que, en estos casos, lo que importa no es la competencia existente, sino la potencial. Baumol, Panzar y Willig, creadores de la teoría de los mercados atacables (*contestable markets*) sostienen que, bajo determinadas condiciones, el comportamiento de las empresas que no tienen rivales es muy similar al que seguirían en el caso de que existiese competencia, pues si decidieran elevar los precios por encima del coste marginal estarían creando oportunidades para que nuevas compañías, mediante una "entrada relámpago", les arrebatasen una parte del mercado (2). Por consiguiente, la concurrencia de un reducido número de empresas no supone un obstáculo para alcanzar los resultados propios de un mercado perfectamente competitivo, ya que si una conducta monopolista u oligopolista permite que un nuevo contendiente logre introducirse en el mercado, existen poderosos incentivos para adoptar el comportamiento que caracteriza a una empresa competitiva.

No obstante, para que un mercado pueda ser considerado atacable deben darse una serie de circunstancias que, en la práctica, casi nunca ocurren (8). Este es el caso de las actividades de red que se llevan a cabo en sectores como los que hemos mencionado antes, donde los costes hundidos suelen ser muy elevados y el establecimiento de las redes obliga a realizar importantes inversiones que no se pueden llevar a cabo en un plazo breve, así que la posibilidad de una entrada rápida queda descartada.

La falta de competencia y la existencia de obstáculos que impiden que el mercado sea atacable suelen obligar a los gobiernos a tomar medidas para garantizar que la gestión de las redes no sólo responde a los intereses de los monopolistas. En algunos casos, han decidido poner las infraestructuras de transporte en manos de una empresa pública, para evitar que un pro-

pietario privado fije unas tarifas muy superiores a los costes y asegurar que todos los posibles usuarios van a poder acceder a ellas en las mismas condiciones. Sin embargo, en la actualidad se confía poco en la propiedad pública. Durante los últimos años se ha ido imponiendo la idea de que la pertenencia al sector público se traduce en el establecimiento de un conjunto de objetivos muy heterogéneos que suele incluir metas incompatibles, lo que dificulta enormemente la tarea de unos administradores que, además, no reciben incentivos apropiados (5). Este problema se une a la imposibilidad de articular unos mecanismos de control que permitan supervisar adecuadamente el trabajo de los gestores, que pueden otorgar mayor importancia a sus propios objetivos e ignorar, total o parcialmente, los que hayan sido señalados por el gobierno (10).

Estos argumentos han proporcionado soporte a la privatización de muchas compañías públicas (7) y, en general, han llevado a los gobiernos a desconfiar de la titularidad pública como forma de resolver los problemas generados por la existencia de monopolios. No obstante, la propiedad privada supone la preeminencia del máximo beneficio, y cuando no existe competencia en el mercado en el que se ofrecen los bienes y servicios, como ocurre en el caso de las actividades de red a las que nos estamos refiriendo, ese objetivo puede dar lugar a precios muy elevados y a la aplicación de unas condiciones de acceso discriminatorias. En consecuencia, se hace necesario adoptar algunas medidas para evitar que los monopolistas ejerzan libremente su capacidad para determinar precios y conceder acceso a las infraestructuras de transporte. Normalmente, entre ellas se encuentra el establecimiento de algún tipo de norma destinada a limitar esa capacidad (regulación de la conducta). Además, cuando se pretende que las actividades que precisan del uso de las redes se lleven a cabo en un entorno competitivo también puede hacer falta una regulación de la estructura, es decir, un conjunto de reglas que determinen si su propietario puede participar en los negocios que se realizan a partir de ellas, pues, en el caso de que se le permita hacerlo,

tiene incentivos para gestionarlas del modo que resulte más perjudicial para los intereses de sus competidores.

La regulación de la estructura: el problema de la integración vertical

Cuando se pretende que exista competencia en las actividades que precisan del uso de redes, puede ser necesario obligar al propietario de las mismas a que no participe en dichas actividades. La regulación a la que está sujeto el sector eléctrico español desde finales de 1997 nos ofrece un ejemplo de este tipo de imposiciones normativas⁴. En la actualidad, la LSE delimita en este sector cuatro tipos de actividades (generación, transmisión, distribución y suministro) e impone normas de separación vertical a las empresas que las llevan a cabo.

Una separación vertical como la que se ha impuesto en el sector eléctrico, aunque sólo sea parcial (y, probablemente, acabe resultando insuficiente), trata de perseguir el objetivo que hemos enunciado antes: evitar que la propiedad de las redes otorgue a sus titulares alguna ventaja sobre las empresas que intentan abrirse camino en las actividades que precisan del uso de las mismas. Además, al definir y acotar el ámbito de actuación de las compañías que poseen las redes resulta más sencillo someter su conducta a un control regulativo, ya que es más fácil aislar los costes e ingresos relativos a ellas.

No obstante, a la hora de evaluar las ventajas y los inconvenientes de la separación vertical debemos tener en cuenta que, normalmente, la segregación implica costes, como los generados por la pérdida de economías de escala (reducción de costes unitarios como consecuencia del incremento en el volumen de actividad) y de alcance (disminución de costes unitarios por

realizar conjuntamente actividades que están verticalmente relacionadas). Estos costes tienen que ser comparados con los beneficios que se derivan de facilitar la competencia a través de la separación, y muchas veces no resulta sencillo hacerlo a priori.

Además, la segregación puede tener otras consecuencias negativas, aún más difíciles de prever, como la aparición de problemas de infrainversión, que surgen porque las empresas que necesitan utilizar las redes corren el riesgo de que si realizan nuevas inversiones, la compañía propietaria de las instalaciones de transporte puede no estar dispuesta a expandirlas tanto como para que tales inversiones sean rentables, o puede pretender cobrarles un precio más alto por acceder a ellas. Así, en sectores como el eléctrico, donde los activos que se emplean en la generación de energía son muy costosos y no pueden ser fácilmente reconvertidos para otros fines cabe la posibilidad de que las empresas productoras tengan pocos incentivos para acometer inversiones socialmente necesarias si piensan que no van a disponer de líneas con la capacidad adecuada o que la compañía propietaria de la red de transmisión va a incrementar sus tarifas cuando ya las hayan realizado. Este problema se evita si una misma empresa asume tanto la producción como la transmisión de electricidad, aunque la integración es un obstáculo para la entrada de rivales en la producción, que es una actividad potencialmente competitiva.

La regulación de la conducta: ¿cuáles deben ser las condiciones de acceso?

Aunque la gestión de la infraestructura de transporte se separe de la actividad que precisa del uso de la misma, todavía hace falta establecer un control regulativo, pues, como ya se ha comentado, es necesario garantizar el acceso a la red y limitar la capacidad de

4. La comparación con el sector eléctrico no es gratuita: recientemente, el Círculo de Empresarios ha publicado un documento en el que se afirma que para asignar el agua a través de un mercado competitivo, hay que aplicar esquemas similares a los que se han introducido en el sector eléctrico (3).

los monopolistas para fijar precios. Esta tarea se complica aún más cuando la gestión de la infraestructura de transporte esta integrada con la actividad que se realiza a partir de ella, pero tampoco es una labor sencilla cuando ambas están separadas.

En lo referente a la regulación de la conducta de las empresas que realizan actividades de red, se plantean dos problemas básicos: en primer lugar, es necesario determinar cómo se va a organizar el acceso a la red de transporte; en segundo lugar, hace falta establecer cómo se van a fijar los precios que tendrán que pagar quiénes deseen hacer uso de la misma.

Cuando un conjunto de agentes económicos necesita utilizar una instalación de transporte que está en manos de un único propietario, hay varias formas de organizar el acceso. Las distintas posibilidades se pueden clasificar en cuatro grupos:

a. Libre acceso (common carriage). Los usuarios pueden emplear la infraestructura de transporte siempre que exista capacidad disponible. Sin embargo, es necesario establecer algunas normas para los casos en los que aparezcan restricciones de capacidad. En tales situaciones, se puede lograr un resultado económicamente eficiente sin que ningún regulador intervenga para fijar precios, aunque el propietario de la infraestructura lograría beneficios monopolísticos, y en caso de que el gobierno deseara evitarlo tendría que regular sus tarifas.

b. Libre acceso con normas de interconexión. Cuando el propietario de la red también opera en la actividad que requiere el uso de la misma y ésta es potencialmente competitiva no se puede permitir que impere el libre acceso y no exista ningún tipo de regla que lo regule. En este caso, lo normal será que las autoridades garanticen el derecho a utilizar la infraestructura y obliguen a sus propietarios a cobrar las mismas tarifas a todos los posibles usuarios. Por tanto, la regulación no sólo limitará los beneficios del monopolista: también servirá para fomentar la competencia sobre la red.

En tales situaciones, muchos economistas proponen aplicar la denominada "regla para el establecimiento de precios eficientes" (efficient component pricing rule o ECPR) (1). En teoría, al emplear esta regla para determinar los precios de acceso se fomenta la participación de empresas que son al menos tan eficientes (en la actividad potencialmente competitiva) como la que gestiona la red en régimen de monopolio. No obstante, esta norma de fijación de precios de acceso también ha sido objeto de críticas (4).

c. Venta y reventa de capacidad (contract carriage). Implica que cualquier posible usuario puede adquirir derechos para utilizar la capacidad de la red y, a su vez, el comprador dispone de la posibilidad de vender tales derechos a terceros. En este caso, el problema que se ha de resolver se refiere a cómo organizar la venta inicial de los mismos.

d. Sistemas de "despacho central" o pooling. Cuando cabe la posibilidad de que aparezcan congestiones en las redes, la mejor solución puede ser la de establecer algún sistema de "despacho central" que equipare los flujos de oferta y demanda que surjan en cada momento y los ajuste a las restricciones existentes en la red, para que la estabilidad del sistema no se vea afectada por la aparición de congestiones.

En el sistema eléctrico español opera un mecanismo de este tipo desde enero de 1998⁵. Todos los días, los productores y los suministradores de electricidad presentan ofertas de compra y venta a un agente denominado "operador del mercado", que se encarga de casar todas las órdenes mediante un algoritmo matemático que tiene en cuenta las restricciones de las redes y la posibilidad de que aparezcan congestiones (de hecho, se rechazan las ofertas de venta que son incompatibles con esas restricciones). La aplicación de este modelo supone que los gestores de las redes de transmisión y distribución no deciden quienes acceden a ellas en cada momento: los usuarios son aquellos

5. Realmente, antes de esta fecha también existía un sistema de "despacho central", pero funcionaba de un modo muy distinto.

agentes económicos que ven casadas sus órdenes (de compra o de venta).

No obstante, con un modelo de "despacho central" como el que se emplea en el sistema eléctrico español no se soluciona eficientemente el problema que se deriva de la existencia de restricciones en las redes, ya que es perfectamente posible que se excluya a un productor barato en favor de otro más caro que puede introducir energía sin provocar congestiones. En principio, resulta difícil encontrar una solución para este problema, pues no es posible crear un mercado en el que se puedan comprar y vender "derechos para usar de las redes en caso de que se produzcan congestiones" cuando es prácticamente imposible determinar cuándo y dónde van a aparecer éstas⁶.

Por otra parte, y en relación con los precios que perciben los propietarios de las infraestructuras de transporte, debemos señalar que, en la actualidad, los titulares de redes de transmisión y distribución cobran unas tarifas de acceso que son determinadas cada año por el gobierno. Además, los ingresos finales de estas compañías no son los que se derivan de la aplicación de esas tarifas: las cantidades recaudadas por las empresas que se encargan de la gestión de las redes se consideran integradas en un fondo común que se reparte entre ellas para que cada una consiga los ingresos que le garantiza el régimen retributivo aprobado por el gobierno⁷.

La finalidad de este tipo de regulación de ingresos es doble:

a. Por un lado, se pretende evitar que los monopolistas ejerzan su poder mercado: los propietarios de las redes no pueden modificar los precios y ni siquiera son capaces de ejercer una gran influencia sobre su nivel de ingresos. Así pues, el mejor camino para maximizar

beneficios es reducir los costes, de modo que, en teoría, esta regulación no sólo limita el poder de mercado: también proporciona incentivos para un comportamiento eficiente.

b. Por otro lado, se evita la discriminación de precios: las tarifas de acceso son las mismas en todo el país, así que todos los usuarios de las redes pagan los mismos precios. No obstante, debemos tener en cuenta que, en el caso de los suministradores que pertenecen al mismo grupo empresarial que las compañías de distribución, el coste que implica el acceso a la infraestructuras de transporte se internaliza, esto es, se traduce en ingresos para el propio grupo. De ello se desprende que, si las tarifas establecidas por el gobierno no se ajustan a los costes en que incurren los propietarios de las redes, éstos se encuentran en una posición ventajosa para competir en las actividades que requieren del uso de las mismas: podrán suministrar electricidad más barata porque son ellos mismos quienes ingresan el margen entre la tarifa de acceso y los costes que se derivan del establecimiento y la gestión de la infraestructura, mientras que sus rivales tendrán que fijar precios más elevados para obtener beneficios después de abonar las tarifas de acceso. Aunque todavía es pronto para juzgar si el gobierno ha conseguido acomodar estas tarifas a los costes que soportan los propietarios de las redes empleadas en el transporte de energía eléctrica, sí cabe señalar que la falta de adecuación puede ser uno de los factores que expliquen el escaso éxito que están teniendo los suministradores independientes de las compañías de distribución.

Además, debemos indicar que, aunque la regulación de ingresos limita el poder de mercado de los titulares de las infraestructuras de transporte, la propiedad de las mismas proporciona otras ventajas que también

6. Una alternativa muy desarrollada a nivel teórico, pero que todavía no ha sido objeto de aplicación práctica es la que han propuesto Hogan y Stoft (6 y 9) que defienden la utilización de "contratos sobre las congestiones en la transmisión" (Transmission Congestion Contracts: TCCs).

7. Así, el importe que perciben los propietarios de líneas de transmisión se determina a partir de unos parámetros establecidos por la Administración, que se emplean para calcular los costes de inversión y explotación que deben cubrir los ingresos. La retribución de los titulares de redes de distribución dependen de los costes imputados a éstos, que se determinan mediante un modelo que tiene en cuenta sus inversiones, sus gastos de explotación y las características de las zonas en que operan.

han de ser tenidas en cuenta. Así, por ejemplo, cabe la posibilidad de que los consumidores puedan percibir que si firman un contrato de suministro con un proveedor independiente de la compañía de distribución a la que están conectados, se puede producir un deterioro de la calidad del servicio que reciben⁸. Y no debemos dejar de subrayar que los propietarios de las redes, al prestar los servicios asociados a las mismas, obtienen muchos datos sobre las características de los consumidores, y esta información les puede resultar muy útil para colocarse en una posición ventajosa a la hora de competir por la captación de nuevos clientes.

Las redes de distribución de los caudales de agua y su funcionamiento en el caso de existencia de mercado

Dentro de las reformas establecidas por la Ley 46/1999 está la relativa al papel que tiene el acceso a las redes de conducción entre los distintos operantes en el mercado. Con esta posibilidad, lo que se trata es de que no solamente se puedan establecer intercambios de derechos de uso entre los distintos operadores en el mercado del agua, sino que esto sea físicamente posible, aunque los usuarios se encuentren en partes alejadas entre sí.

Esta posibilidad incluso se ha ponderado como adecuada en el documento publicado por el Círculo de Empresarios Círculo de Empresarios (6) donde, aparte de defender una mayor privatización de los recursos hídricos, se matiza que "En numerosas ocasiones, un proceso de privatización de los recursos hídricos puede traducirse en la concesión de un sistema de monopolio en el mercado. En este caso, la venta de los activos ha de ir acompañada de medidas orientadas a garantizar o favorecer la competencia. En estos casos facilitar el acceso a las redes de suministro de nuevos competido-

res e incluso a los consumidores cualificados tanto dentro como fuera de la demarcación en las cuales operan serían medidas muy interesantes. En la práctica se trata de aplicar al agua esquemas similares a los introducidos en el mercado eléctrico para aumentar de manera progresiva las presiones competitivas dentro del mercado".

Ya se ha tratado anteriormente cuáles son estas condiciones en el mercado eléctrico. ¿Son las mismas posibles en un supuesto mercado del agua?

Aparte de subrayar las grandes diferencias actuales entre ambos sistemas en la actualidad en España, debido, sobretudo a la inexistencia formal de intercambios o cesiones de uso en los términos previstos en la Ley 46/1999, conviene subrayar en este apartado las limitaciones institucionales que representan los sistemas de redes hidráulicas actuales en España para hacer posible tales sistemas.

Es cierto que la nueva Ley de aguas contempla esta posibilidad. Además, con una liberalidad destacada. El nuevo artículo 61. bis de la Ley 46/1999, en su apartado 8, especifica que: "cuando la realización material de las cesiones acordadas requiera el empleo de instalaciones o infraestructuras hidráulicas de las que fueran titulares terceros, su uso se establecerá por libre acuerdo de las partes.". La utilización de las redes hidráulicas quedaría, bajo este precepto, al libre albedrío del mercado, y serían los propietarios de las mismas los que establecerían los precios de peaje para que el agua pudiera fluir de uno a otro extremo de los concesionarios cedentes a los receptores. Sin embargo se plantea la cuestión clave de esta nueva situación: ¿De quién es la propiedad de las redes hidráulicas en España?

Varias situaciones se plantean para la resolución inicial de este problema:

1. Los intercambios de agua (la compraventa o cesión de usos como dice la Ley), se hacen entre

8. Por el momento, no se ha aprobado ninguna norma que obligue a los distribuidores a cumplir unos requisitos mínimos con respecto a todos los usuarios que estén conectados a su red (sean o no clientes del suministrador perteneciente a su mismo grupo empresarial), así que la percepción de que un cambio de proveedor puede deteriorar la calidad del servicio puede estar pesando sobre las decisiones de los consumidores, y si así fuese existiría una barrera para la entrada de nuevos comercializadores.

Comunidades de Usuarios que utilizan sus propias redes.

2. Los intercambios se realizan a través de redes públicas.

3. Los intercambios se realizan a través de redes de Comunidades de Usuarios distintos.

4. Los intercambios precisan de nuevas redes.

La primera situación no requeriría ninguna actuación adicional. Los acuerdos de cesión de caudales incluirían cláusulas que contemplarían la utilización de las redes y la aprobación del intercambio por la Administración daría forma legal al intercambio. Nos encontraríamos ante situaciones de Comunidades de Usuarios colindantes con infraestructuras conectadas. A pesar de parecer elemental esta solución, no lo es tanto. Si tenemos en cuenta que las cesiones de uso se pueden dar entre distintos aprovechamientos, por ejemplo riego y abastecimiento urbano, nos podemos encontrar ante una alteración importante de los precios administrativos de estos suministros, debido a los diferentes regímenes aplicables a cada uno de ellos.

La utilización de las redes públicas es, posiblemente la situación más común. Tanto los sistemas de almacenamiento como los de encauzamiento y conducción del agua en nuestro país son, en su mayoría de propiedad pública o de dominio público. Para llevar a cabo los intercambios se hace preciso contar con la aquiescencia de la Administración, no sólo para aprobar las cesiones de uso de los abastecimientos sino también para la utilización de las infraestructuras que los pueden hacer viables. La diferencia con el sistema eléctrico es notable. Para hacer comparables ambos sistemas se tendrían que privatizar el sistema de distribución tanto en alta (cauces de los ríos o canal del Trasvase Tajo-Segura, por ejemplo, que serían el equivalente a la empresa Red Eléctrica Española), como definir claramente la propiedad de las redes de distribución en baja (redes de abastecimiento de las Comunidades de usuarios). Estas últimas, como después veremos, se han construido y financiado mediante una participa-

ción pública relevante, por lo que se precisa de una clarificación del alcance de los títulos de propiedad.

La Ley 46/1999 trata de resolver esta problemática con otro procedimiento de intervención pública. En el mismo artículo 61 bis, apartado 8 se precisa que "En el caso de que las instalaciones o infraestructuras hidráulicas necesarias (para la cesión de usos) sean de titularidad del Organismo de cuenca, o bien tenga este encomendada su explotación, los contratantes deberán solicitar, a la vez que dan traslado de la copia del contrato para su autorización, la determinación del régimen de utilización de dichas instalaciones o infraestructuras, así como la fijación de las exacciones económicas que correspondan de acuerdo con la legislación vigente". La Ley, en vez de resolvernos el problema nos abre una nueva discusión acerca de cuáles con las exacciones aplicables en cada caso para que circulen las aguas entre los diferentes usuarios que realizan la cesión de usos.

Las situaciones anteriores son sumamente complejas. Pueden suponer, por ejemplo, la utilización de los cauces públicos de los ríos para aquellas Comunidades de Usuarios ubicadas en diferentes puntos de los mismos, con los que las exacciones no estarían fijadas. O pueden ser las de utilizar canales públicos con algún régimen de explotación propio, con importantes precios de uso.

Un interesante caso particular sobre este régimen es el aplicado en la actualidad en el sistema de explotación del Trasvase Tajo-Segura. El artículo 10 de la Ley 52/1980 del Régimen Económico de la explotación del Acueducto Tajo-Segura prescribe que "Con independencia de lo establecido en los artículos anteriores, los aprovechamientos con recursos propios de la cuenca del Segura o del Sur pueden beneficiarse de las obras del acueducto Tajo-Segura para transportar y distribuir sus correspondientes dotaciones concesionales, abonando la tarifa de conducción de agua que resulte de aplicar, en cada caso, los criterios establecidos en el artículo 7 (relativo a los costes que se deben de incluir en los mismos)".

Este sistema, aparte de otros problemas como los de la circulación de caudales por el río Segura, que ha originado el deterioro del río a su paso por la Vega Baja, ha creado las denominadas tarifas "de peaje" que, en cierta medida son un antecedente de lo que estamos tratando.

La bondad de este sistema incluso se ha ampliado para la conexión entre cuencas, excepcional en el sistema de aguas español, ya que el Real Decreto-Ley 8/1999 modifica el artículo 10 de la Ley 52/1980 para que "con independencia de los artículos anteriores, los aprovechamientos con recursos propios de la cuenca del Segura, del Sur o del Júcar, previstos en sus correspondientes Planes Hidrológicos de cuenca, pueden beneficiarse de dicha obra para transportar y distribuir sus correspondientes dotaciones concesionales, entre dos puntos dentro del mismo ámbito territorial de planificación hidrológica, abonando la tarifa de conducción de agua que resulte de aplicar, en cada caso, los criterios establecidos en el artículo 7".

Mediante el mecanismo anterior se han concretado las tarifas aplicables al uso del acueducto Tajo-Segura, pero ante la gran cantidad de infraestructuras públicas existentes y la carencia de regímenes de explotación semejantes al mismo, dentro del modelo vigente de distribución de recursos, se precisaría de la aprobación de un sistema de tarifas general y específico para el uso de las distintas infraestructuras para no generar las incertidumbres (y desigualdades de tratamiento) que la situación actual genera.

Es obvio que estas situaciones contrastan grandemente con las del mercado eléctrico, por lo que las consideraciones del Círculo de Empresarios no pueden mas que ser tomadas como fuera del contexto institucional español.

Cuando los intercambios precisan de nuevas redes, y esta sean privadas, las mismas estarán sujetas a aprobación administrativa independiente de la aprobación del intercambio de derechos de uso, según el mismo artículo 61 bis apartado 8. Esta modalidad de creación de nuevas redes financiadas privadamente serían el

producto más genuino de esta mayor liberalización del mercado del agua y podrían, desde el punto de vista económico-financiero, poner en evidencia el interés del capital privado en invertir en este mercado potencial. Pero debido a los límites señalados anteriormente ¿quiénes van estar dispuestos a invertir en redes con un fuerte peso de los costes hundidos ante tanta incertidumbre sobre su funcionamiento completo?

Bibliografía

- BAUMOL, William J.; ORDOVER, Janusz A.; WILLIG, Robert D. (1997): "Parity pricing and its critics: A necessary condition for efficiency in the provision of bottleneck services to competitors", *Yale Journal on Regulation*, vol. 14, nº 1, págs. 145-163.
- BAUMOL, William J.; PANZAR, John C. y WILLIG, Robert D. (1982): *Contestable markets and the theory of industry structure*. San Diego. Harcourt Brace Jovanovich.
- CÍRCULO DE EMPRESARIOS (2000): *Un nuevo marco institucional para el agua*. Madrid. Círculo de Empresarios.
- ECONOMIDES, Nicholas y WHITE, Lawrence J. (1998): "The inefficiency of the ECPR yet again: a reply to Larson", *The Antitrust Bulletin*, vol. 43, nº 2, págs. 429-444.
- FERNÁNDEZ, Zulima (1985): "Rasgos diferenciales de la dirección de las empresas públicas", *Economía Industrial*, enero-febrero, págs. 107-120.
- HOGAN, William H. (1995): *Electricity transmission and emerging competition*. Public Utility Research Center Annual Conference. 27 de abril de 1995. Gainesville. Florida.
- HEMMING, Richard y MANSOOR, Ali M. (1988): *Privatization and public enterprises*. Occasional Paper nº 56. Washington. Fondo Monetario Internacional.
- SHEPHERD, William G. (1984): "<<Contestability>>

vs. competition", American Economic Review, vol. 74, nº 4, septiembre, págs. 572-587.

STOFT, Steven (1997): How Financial Transmission Rights Curb Market Power. Documento de Trabajo. University of California Energy Institute. Berkeley. California.

VICKERS, John y YARROW, George (1991): "Economic perspectives on privatization", Journal of Economic Perspectives, vol. 5, nº 2, primavera, págs. 111-132.

Planta potabilizadora de agua de mar accionada por un reactor nuclear de 2,98 GWT

■ **Martín Pérez Basanta**

Departamento de Física Aplicada. Universidad Miguel Hernández

Las Plantas Nucleares de Desalinización recomendadas ya por Organismos internacionales para los países ribereños del Mediterráneo y Golfo Pérsico son las que utilizan Reactores Nucleares de tipo medio de agua presurizada (PWR) y el método de desalinización preferido es el de Múltiple Efecto sobre los de Evaporación (MSF). Se considera como no rentables las Plantas Nucleares de más de 500.000 m³/día.

Existe ya una experiencia acumulada de más de 500 reactor-año en varios países: (Kazastán, Japón) y estudios y Plantas en marcha en varios otros (Marruecos, China, Corea).

Los Reactores Nucleares de 2,98 GWt utilizados actualmente en las Centrales Eléctricas del mundo occidental son bien conocidos y objetivamente muy seguros. De cada Reactor se obtiene 1 GW de potencia utilizando una turbina de condensación.

Instalando una turbina de contrapresión a 3,5 bar y condensando el vapor en una Planta de Desalinización de Múltiple Efecto o MSF (MultiStage Flash) se puede obtener como subproducto 1 Mm³/día de agua potable además de una importante producción de energía eléc-

trica exportable. La versatilidad de la Planta permite también, fuera de los picos de demanda, convertir energía eléctrica en más agua utilizando módulos de Osmosis Inversa.

En esta comunicación se describe su aspecto y características generales, ubicación deseable, sus tres ríos y su costo y rentabilidad en tres casos simples de estudio: 1) Cultivos de primor en los invernaderos de Almería; 2) Costo de una acción y cuota anual para jugadores en campos de golf en un país desértico; 3) Impacto sobre la mejora de la calidad de vida de una sola Planta en un país en desarrollo de unos 20 millones de habitantes.

Introducción

Las Centrales Nucleares de Generación de Energía Eléctrica utilizan una turbina de condensación. El vapor cede su entalpía a la turbina y después es condensado utilizando un caudal de agua fresca procedente de un río cercano o del mar.

Si se modifica el ciclo instalando una turbina de contrapresión a 3,5 bar y condensando el vapor en una

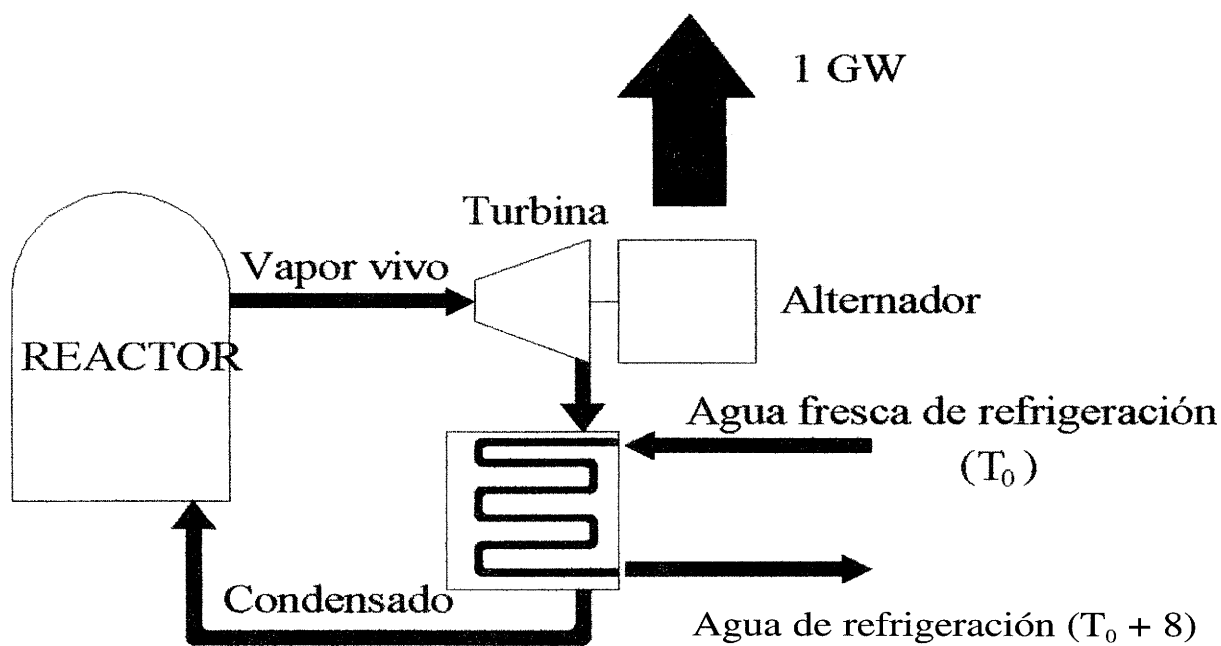


Figura 1. El ciclo de generación de energía eléctrica en una Central Nuclear.

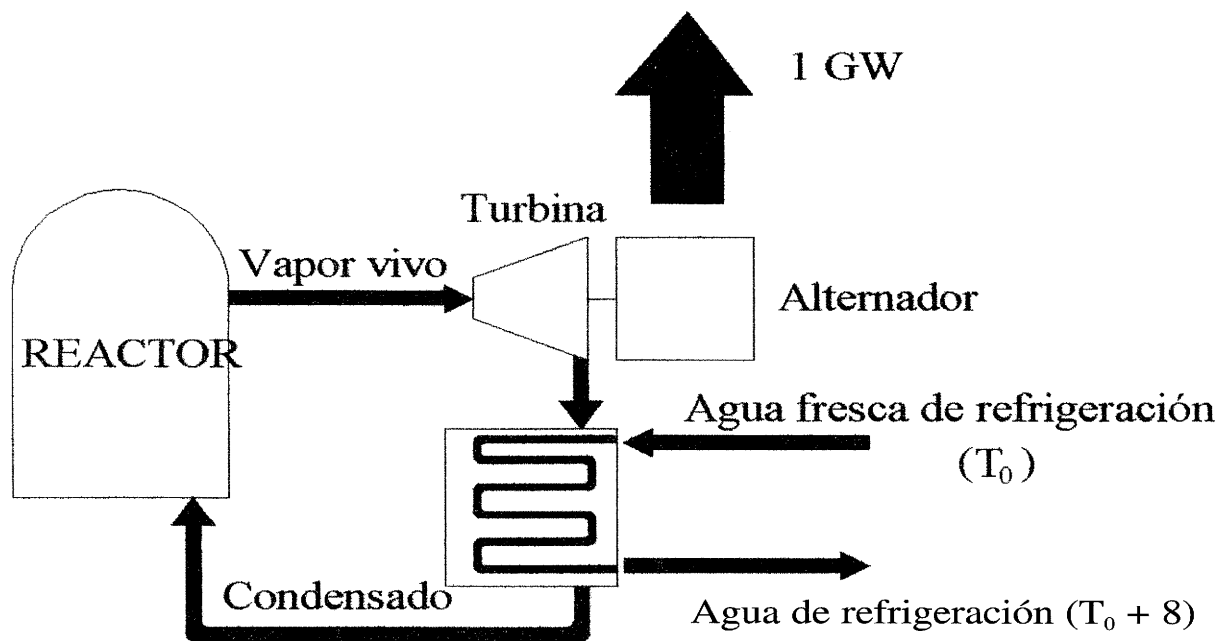


Figura 2. Ciclo de generación de energía eléctrica y agua en una planta nuclear de desalinización.

Planta de Desalinización de Múltiple Efecto o MSF (MultiStage Flash) se puede obtener como subproducto 1 Mm³/día de agua potable.

Las características principales de la Planta resultante son:

REACTOR NUCLEAR

Potencia térmica del Reactor. 3 GWt

Presión del vapor vivo. 70 bar (1.000 psi)

Presión de vapor en la salida de la turbina 3,5 bar abs

Caudal de vapor. 4 M kg/hr

EVAPORADOR (MSF o ME)

Ratio (kg agua/kg vapor). >10

PRODUCCION

Agua 1 M m³/día

Potencia eléctrica exportada. 700.000 kW

COSTO TOTAL

Planta Nuclear + Potabilizadora. 300.000 Mptas

OPERACION

Personal de Operación 1.500

Costo anual (Combustible, Personal, etc.) 30.000 M ptas

CONVERSIÓN POR OSMOSIS

INVERSA 4 kWh/m³

Un aspecto llamativo de la Planta lo constituyen sus tres ríos: uno de agua de mar fresca de unos 50 m³/s, que permite ubicar la Planta, por razones sicológicas, en el interior del país, en algún paraje protegido por montañas y no al lado de un río o del propio mar; un segundo río, el de agua producida, con un caudal de 12 m³/s, similar al Trasvase Tajo-Segura, y un tercer río, de unos 40 m³/s, formado por dos partes de agua de mar y una de salmuera, a una temperatura unos 10 ° C más caliente que el agua de origen, que permite la creación de un mar interior.

Costo del agua producida

Con los datos del costo, 300.000 millones de ptas,

un gasto anual del orden de 30.000 millones, un número de personas de operación de 1.500 y la producción de 700.000 kW + 1 Mm³/día, al introducir los parámetros de vida útil, amortización, precio de venta del kWh, etc., puede obtenerse cualquier valor entre 0 y 180 ptas.

Estudio de rentabilidad en un caso simple
nº 1. Invernaderos en Almería

Los invernaderos explotados por una familia en Almería tienen superficies del orden de 5.000 m² en cultivos de primor (clavel) y 10.000 m² en producción de frutas y hortalizas de precio medio (pimiento, p.ej.):

Los ingresos anuales son del orden de entre 5.800.000 y 7.500.000 ptas con un consumo de agua de 8.000 m³/año y un consumo doméstico de 100 m³/año. El consumo de energía es de 24 000 kWh/año en invernadero + domicilio.

Una sola Planta Nuclear puede abastecer a más de 40.000 invernaderos. Planteada la situación como una Cooperativa de Propietarios que decide construir la Planta, resultaría este costo por propietario:

Costo por Invernadero de cada Acción:
9.000.000 ptas.

Costo mensual: 40.000 ptas/mes.

Incluye: Energía eléctrica del Invernadero y del domicilio. Agua del invernadero y doméstica (incluido un pequeño jardín).

Caudal de agua caliente (40∞) para calefacción del invernadero.

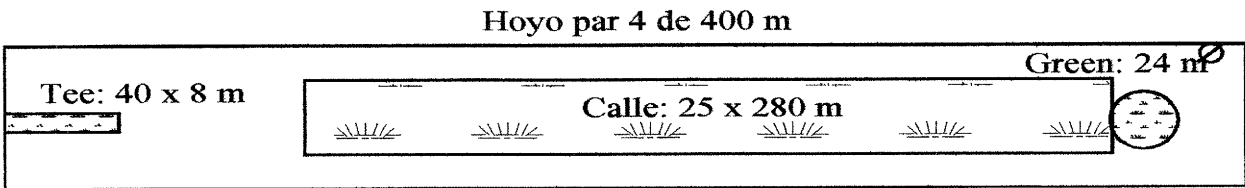
Caso simple nº. 1. Producción de cítricos

La misma situación, planteada por propietarios de explotaciones agrícolas de cítricos con un consumo de agua de 6.000 m³/ha y año y una producción de 30.000 kg/ha muestra rápidamente su difícil rentabilidad económica. Una Planta puede abastecer a unas 50.000 ha

lo que arroja un Costo de la Acción de 9 Millones ptas/Ha.

Caso simple n° 2. Creación de Campos de golf

campos de golf. Redondeando esta cifra a 1.000 los números finales son:



Tomando como hoyo medio del campo un hoyo par 4 de 400 m, donde se riega con agua de buena calidad los tees (40 x 8 m), las calles 25 x 280 m) y los greens se obtiene estos resultados:

- Superficie total del hoyo par 4: 26.440 m².
- Superficie de hierba de buena calidad (Tees, Calles y Greens): 11.000 m² (41%).
- Superficie total del campo de golf: 400.000 m².
- Superficie total de hierba de buena calidad (41%): 160.000 m².
- 300 parcelas de 800 m² cada una: 240.000 m².
- Jardines: 100.000 m².
- Consumo máximo de agua de riego (4 l/m² y día): 1.000 m³/día.
- Consumo doméstico de agua (250 l/persona y día x 2.000 personas): 500 m³/día.
- Número de socios propietarios: 1.000 (200 socios en parcelas de 800 m² + 800 socios en apartamentos con jardín).
- Consumo de energía eléctrica doméstica: 1.000 casas x 200 kWh/mes (280 kW).
- Consumo global total de agua en un campo de golf: 2.000 m³/día.
- Potencia eléctrica necesaria máxima: 400 kW.

La Planta puede suministrar energía eléctrica a más de 2.000 Campos de golf y agua a más de 500. Puesto que la energía eléctrica puede ser traducida a agua mediante Osmosis Inversa a razón de 4 kWh/m³, 1 kW equivale a 6 m³/día y se obtiene que una sola Planta Nuclear puede abastecer de agua y energía a 1.250

- 1.000 campos de golf.
- Numero total de socios: 1.000.000.

- Costo de una Acción: Del orden de 900.000 ptas.
- Cuota anual (incluidos los consumos de Agua y Energía tanto de riego del campo como el consumo doméstico y todos los jardines): Del orden de 80.000 ptas/año.
- Parcela de terreno prácticamente incluida, si el terreno elegido es desértico.

Conclusiones

1. Tanto la Acción como la cuota anual resultantes son menores que los valores actuales en el Sur de Europa.
2. En un país en desarrollo, con salarios del orden de 150.000 ptas mensuales o inferiores, cada campo puede crear 500 puestos de trabajo permanentes además de los que requeriría la construcción, que podrían ser de hasta 2.000 o más, a lo largo de varios años.

Caso n° 3. Impacto en un país en desarrollo

- En un país desértico en desarrollo las necesidades mínimas tanto de agua sana como de energía eléctrica son menores que en un país desarrollado. 25 litros de agua fresca por persona y día y un consumo de energía eléctrica de 2 kWh/día suponen el acceso de todo un país a la salud.
- Una sola Planta puede abastecer a 20.000.000 personas.

Conclusiones

1. Las grandes Plantas Nucleares de Desalinización son ya rentables económicamente en un país desarrollado, no para producir cítricos o trigo, pero sí cultivos de primor o servicios de alto valor añadido.

2. En un país en desarrollo una sola Planta y la infraestructura que la acompañaría, toda una obra de Estado, puede significar el acceso a la salud y al bienestar de toda una población de hasta 20 millones de habitantes. La mala conciencia del mundo desarrollado aportaría financiación y la opinión pública cambiaría fácilmente su antipatía hacia una energía de origen nuclear que se destinara a producir agua dulce, especialmente en esos países en desarrollo de los que nos llegan, siempre a las horas de las comidas, imágenes estremecedoras de niños desnutridos.

3. En el mundo existe actualmente en funciona-

miento unos 500 Reactores Nucleares y el petróleo muestra ya incipientes síntomas de escasez. El mundo está conviviendo con el daño que produce el consumo de combustibles fósiles y el riesgo de las 500 Centrales Nucleares. De ambas algunas se cerrarán y se creará otras nuevas. Y el planeta seguirá conviviendo con el daño de unas y el riesgo de otras.

Aspecto de la Planta.

- 1. Edificio del Reactor.
- 2 a 5. Edificios Auxiliares.
- 6. Calentadores de salmuera.
- 7. Evaporadores.
- 8. Llegada de agua de mar fresca.
- 9. Agua producto.
- 10. Agua de mar rechazada.
- 11 a 13. Colectores de producto y rechazo.
- 14 y 15. Balsas de control.

Embalses: una necesidad de la España seca

📖 **Hernández, F.; Melgarejo, P.; Martínez, J.J.**

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Universidad Miguel Hernández de Elche)

📖 **Carrillo, J.M.**

Ingeniero Agrónomo

Introducción

La regularidad temporal de los recursos en régimen natural impide que puedan ser totalmente aprovechados en la satisfacción de las diferentes necesidades del agua, de forma que los recursos realmente disponibles son muy inferiores a los naturales. De hecho, sólo una pequeña fracción, inferior al 10%, podría ser aprovechada sino se altera artificialmente el régimen natural. La forma de paliar, al menos en parte, esta extrema irregularidad es la adaptación al régimen natural de aportaciones al régimen de demandas por medio de la regulación en embalses.

En España el número de presas en servicio supera el millar, con una capacidad de almacenamiento total próxima a los 54.000 Hm³, y sigue creciendo, bien por iniciativas estatales, bien por iniciativas privadas.

La construcción de estos embalses o depósitos para el almacenamiento de agua ha exigido un continuo esfuerzo de ingeniería para encontrar soluciones suficientemente económicas para no gravar el coste de un producto escaso, y garantizar al mismo tiempo la seguridad y durabilidad de las construcciones.

La situación actual y debida a la simplicidad tecnológica, de la construcción de embalses de materiales sueltos con poca profundidad para el almacenamiento de aguas de riego ha dado lugar a numerosos fracasos debido a la insuficiente tecnificación de los agentes responsables de su diseño y construcción.

En cuanto a la situación actual de presas se caracteriza por una cierta heterogeneidad normativa, al aplicarse simultáneamente el Reglamento Técnico sobre Seguridad de presas y embalses y la Instrucción para el Proyecto, Construcción y explotación de grandes presas. A ello debe añadirse el bajo rango normativo del reglamento, pues se trata de una Orden Ministerial.

Es importante resaltar la necesidad de contar con los medios y los presupuestos necesarios para control de la seguridad de estas infraestructuras.

Construcción de un embalse: fases

En la construcción de un embalse hay que destacar las siguientes fases.

Estudio del terreno. Planificación. Las características del emplazamiento del embalse son un factor

determinante en la construcción y economía de éste. En la elección del emplazamiento inciden un conjunto de criterios que permiten optimizar las condicionantes de diseño.

a) Criterios de accesibilidad. Hay que prever las condiciones de movilidad de los medios constructivos durante la realización de la obra y en la explotación de la misma.

b) Criterios de topografía. El relieve superficial del terreno influye notoriamente, tanto en los materiales a remover, desde la superficie original del terreno y la de superficie final, como en la estabilidad estructural de los desmontes y terraplenes que configuran el vaso.

c) Criterios de medio ambiente, impacto ecológico y compatibilidad de usos. Los beneficios socioeconómicos que conlleva la construcción de un embalse no justifican en ningún caso los graves perjuicios que pudiera derivarse sobre el medio en su área de influencia como consecuencia de un proyecto defectuoso. Es posible minimizar el impacto producido si se actúa con criterios de preservación del medio.

d) Criterios de situación relativa respecto a las fuentes de suministro a la red de transporte y distribución de las zonas de demanda.

e) Criterios de climatología e hidrología. La climatología dentro de un área influye poco en la elección. Un factor que puede condicionar la ubicación es un régimen torrencial de lluvias, pudiendo afectar seriamente la estabilidad del mismo si no se tienen en cuenta la posible aportación de éstas. La hidrología superficial y subterránea condicionan la ubicación del embalse, ya que las escorrentías o afloramientos puede causar perjuicios en las paredes del embalse, o en la lámina, de ahí que el estudio de estos factores sea muy importante.

f) Criterios de geología y geotécnica. La estructura y composición de los suelos es fundamental estas construcciones por ser el material a utilizar en la formación del vaso.

g) Criterios de seguridad. Hay que contar con la delimitación del área de influencia en caso de desbor-

damiento, cuantificando bienes y actividades económicas localizadas en esta área y los núcleos de población situados en esta área.

Proyecto. Por medio del proyecto hay que realizar la planificación del embalse que nos permita una buena definición del mismo para poder realizar la contratación y la ejecución del mismo.

En la fase de proyecto se requiere disponer de:

– Cartografía general y topografía de detalle.

– Estudio del terreno. Clasificación y usos del mismo.

– Estudio geotécnico, que permite determinar el diseño y cálculo de estabilidad del dique o secciones del terraplén.

– Estudio climatológico.

– Estudio sísmológico.

– Estudio de impacto ambiental.

– Estudio de las aguas a embalsar, destacando la procedencia, condiciones de transporte, características físico-químicas y sobre su destino o utilización en el riego.

Una vez recopilados estos datos hay que proceder a la redacción del proyecto, definiendo antes de realizar cálculos, los siguientes parámetros:

a) Capacidad del embalse. Es una de las decisiones de mayor incidencia en el proyecto del embalse.

b) Geometría del embalse. Hay que definir la planta y alzado del embalse. La disposición en planta más recurrente es la de polígonos curvilíneos, regulares o irregulares, que presenta ventajas frente a la poligonal pura.

c) Pendiente del fondo. La pendiente del fondo tiene por finalidad permitir el vaciado total del embalse a través del dispositivo de desagüe. Se recomienda pendientes superiores al 0.5%, que faciliten la salida del agua y limpieza de fondo.

d) Altura de agua y de resguardo. Establecer la altura de agua constituye una de las decisiones básicas del proyecto de un embalse de materiales sueltos y geomembrana. La altura máxima de agua esta condicionada por factores limitativos:

- Capacidad portante del terreno natural.
- Deformabilidad de los suelos existentes y de los terraplenes.

- Adaptación de la forma del vaso a la del relieve del emplazamiento.

- Esfuerzos sobre la lámina de impermeabilización. Para este tipo de embalses los valores más comunes oscilan entre los 10 y 15 m.

La altura de resguardo (distancia entre lámina de agua y altura máxima de coronación de tierras) debe ser según la "Instrucción de Grandes Presas" de una vez y media la altura de la máxima o la posible originada por el viento.

e) Anchura de coronación: El condicionante de la anchura de coronación viene dado por movimiento de vehículos y maquinaria, alojamiento de conducciones u ocupación con elementos accesorios (perfiles, anclajes, cerramientos, edificaciones, etc.).

f) Pantalla de impermeabilización: El tipo de pantalla de impermeabilización debe analizarse detenidamente, considerando las acciones a las que ésta puede estar sometida, y que puede ser:

- Efecto del viento: Es una de las principales causas de daños.
- Temperatura a la que se va a ver sometida la lámi-

na provocando dilataciones y contracciones.

- Radiación solar directa.
- Granizo o pedrisco puede arruinar la lámina.
- Oleaje producido por el viento.
- Las características reológicas de los distintos elementos ejercen en sí mismos distintos esfuerzos sobre la lámina. Importante en láminas de HPDE y PVC-P.
- Peso propio de todos los elementos de la pantalla y el rozamiento entre ellos y del conjunto con el soporte puede obligar a anclajes intermedios.
- Asientos diferenciales del terreno pueden provocar daños en la lámina.
- La vegetación puede causar todo tipo de problemas en las láminas.

- Efecto del subsuelo, como nivel freático alto, gases producidos por emanaciones subterráneas, pueden afectar a la lámina. Un drenaje puede evitar estos efectos negativos.

Una vez analizados los factores que afectan a la pantalla de impermeabilización se decide la solución de tipología de ésta.

Los geosintéticos utilizados como pantallas de impermeabilización se clasifican en:

1. Geomembranas o láminas delgadas impermeables.

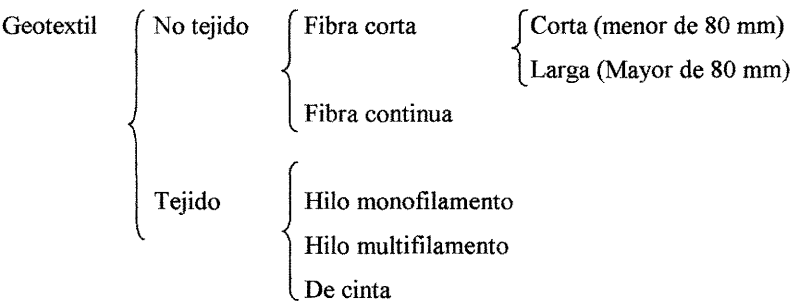
| | | |
|------------------------|---|--|
| Termoplásticos | { | Policloruro de vinilo plastificado (PVC-P) |
| | | Polietileno de baja densidad (LDPE) |
| | | Polietileno de alta densidad (HDPE) |
| | | Polietileno clorado (CPE) |
| | | Polisobutileno (PIB) |
| | | Polipropileno (PP) |
| | | Colipolímero de acetato de vinilo y etileno (EVA/C) |
| Cauchos termoplásticos | { | Copolímero de etileno/propileno (E/P) |
| | | Polietileno clorosulfonado (CSM) |
| Elastómeros | { | Caucho de cloropreno (CR) |
| | | Caucho terpolímero de etileno /propileno /monómerodiénico (EPDM) |
| | | Caucho butilo (EPR) |
| | | Caucho de acrilonitrilo/butadieno (NBR) |
| | | |

2. Geotextiles o fieltros de fibra polimérica tejida o no tejida. Este material cumple las siguientes funciones básicas: Drenaje de agua y gases, filtración de partículas, separación de capas diferentes, refuerzo del conjunto suelo-geotextil y protección de la geomembrana.

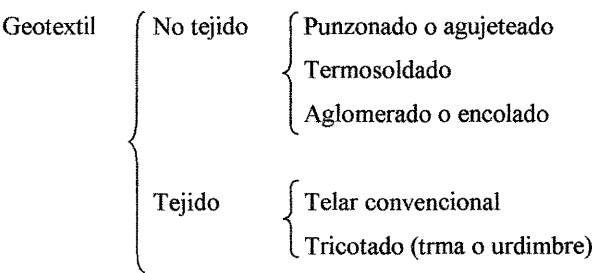
Los geotextiles se pueden clasificar en función de su estructura o en función de su proceso de fabricación.

- i) Otros elementos funcionales.
 - * Dispositivo de entrada de agua al embalse.
 - * Aliviadero. Es fundamental para la seguridad del embalse. Se pone en la zona de altura de resguardo del embalse.
 - * Tomas y desagües a fondo.
 - * Galería de servicios y dispositivos de salida de agua.
- j) Elementos exteriores y accesorios del embalse.

Clasificación de los geotextiles en función de su estructura:



Clasificación de los geotextiles en función de su proceso de fabricación



Geomallas y georredes. Se emplean para mejorar resistencia de terraplenes (cohesión y rozamiento interno) y mejora de drenaje.

g) Anclajes. Las geomembranas una vez instaladas están sometidas a condiciones desfavorables, debido al efecto de acciones de temperatura (dilataciones y contracciones), oleaje, peso propio y viento fundamentalmente. Para evitar que la geomembrana se desprenda hay que buscar un anclaje de ésta.

h) Drenaje interior. En caso de que exista una rotura en la lámina se puede producir una subpresión en el trasdós de ésta, con la red de drenaje se evita esta subpresión y se puede recoger el agua que se pierda por la rotura.

Hay obras que complementan las obras intrínsecas del embalse y son muy importantes para la explotación del mismo.

- Ejemplos de estos elementos son:
- * Conducciones hasta la entrada al embalse.
 - * Conducciones de distribución hasta las zonas de consumo.
 - * Cerramiento.
 - * Elementos de seguridad, como escalas o cuerdas.
 - * Canalización de aguas pluviales, que permita evacuar las aguas de lluvia a zonas que no afecten la estabilidad del embalse.
 - * Sistema de control que permita comprobar sistemáticamente las deformaciones producidas, tanto en el

llenado inicial como en las situaciones sucesivas.

* Instalación eléctrica. Esta instalación es opcional en función del grado de complejidad de la obra. Puede ser necesaria para los dispositivos de control, iluminación, elementos electromecánicos y automatismos.

* Protección de paramentos exteriores que eviten la erosión. Se puede recurrir a tratamiento vegetal que mejore la adaptación medioambiental del embalse.

Ejecución del embalse. Para conseguir una buena ejecución es fundamental un correcto planteamiento de las labores previas a la propia construcción.

a) Replanteo. Hay que buscar el reflejo gráfico y numérico sobre el terreno.

b) Plan de obra. Hay que realizar una organización de todos los tajos.

c) Accesos e instalaciones provisionales.

d) Equipos y maquinaria. Habrá que seleccionar el número y tipo adecuado, en función de la importancia y plazo de la obra.

Después de la fase previa de planificación hay que realizar las siguientes tareas:

Movimiento de tierras. Se establecen varias etapas:

a) Desbroces. Consiste en la eliminación de la capa vegetal en toda la superficie en que se asienta el embalse.

Esta tierra puede utilizarse para el recubrimiento final del talud exterior.

b) Desmontes. Es importante determinar correctamente el material que hay que arrancar, para no tener que recomponer en caso de excesos.

c) Terraplenes. El dique de cierre del vaso constituye el elemento estructural más importante de una obra de embalse, por tanto hay que realizar un especial cuidado en su ejecución mediante controles topográficos y ensayos de laboratorio.

d) Zanjás y pozos. Estas unidades se utilizan para cimentación de obras de fábrica y para alojamiento de tuberías.

Hormigones. En un embalse se utiliza hormigón en distintos elementos como macizo de toma, desagüe de fondo, galería de servicios, dispositivo de entrada de

agua, aliviadero, pretil de coronación o anclajes de la lámina.

Pantalla de impermeabilización. Para colocar la pantalla de impermeabilización hay que tener realizadas las unidades de movimiento de tierras, drenaje de la pantalla, entrada de agua, macizo de toma y desagüe de fondo, aliviadero y valla de cerramiento.

Esta labor requiere limpieza, orden y método e inspección sistemática.

Tuberías. En este apartado hay que cuidar las dimensiones, y forma de la zanja donde se instala, así como una buena colocación y un adecuado relleno, tanto en el asiento como en al envoltura cuidando muy bien los anclajes en los cambios de dirección.

Instalación eléctrica. Esta instalación va encaminada a dar servicios de alumbrado, instalaciones electromecánicas y automatismos.

Valla de cerramiento. Su papel es el de dificultar en lo posible el acceso al interior del embalse de personas ajenas a su servicio.

Regeneración ambiental. Con la construcción del embalse se ha producido un impacto sobre el terreno, de tipo permanente y es recomendable conseguir una repoblación con plantas que se adapten a las condiciones agroclimatológicas de la zona. Esta regeneración puede contribuir a evitar la erosión de taludes y a dar mayor estabilidad a estos.

Control de calidad

Igual que en cualquier obra civil hay que establecer un control de calidad para la ejecución de todos los trabajos y para la calidad de los materiales utilizados.

La realización de los ensayos prescritos en el Pliego los hará un laboratorio homologado.

Las unidades básicas a controlar serán:

– Terraplenes. Hay que controlar su compactación y geometría.

– Rellenos. Hay que controlar granulometría y compactación.

– Hormigones. Se seguirá la Instrucción para hor-

migón armado y en masa EHE.

- Tuberías. Habrá que realizar controles sobre resistencia mecánica y estanqueidad.

- Valvulería y equipos electromecánicos.

- Pantalla de impermeabilización. Todas las pantallas deben venir respaldadas con certificaciones homologadas con las especificaciones de: densidad, módulo elástico, resistencia mecánica (tracción, impacto, desgarró), alargamiento, retracción, absorción de agua, módulo de resistencia específica, composición química (materia prima, plastificantes, estabilizantes, otros aditivos, etc).

Una vez colocada la pantalla de impermeabilización hay que controlar todas las juntas y pernos para verificar que no existen fugas. Esta aunque laboriosa es muy efectiva en el buen funcionamiento del embalse.

Seguridad y salud

Es obligatorio incorporar al proyecto de embalse el Estudio de Seguridad y Salud correspondiente.

La puesta en práctica de las determinaciones del Estudio en la fase de construcción se materializa a través del Plan de Seguridad y Salud para su aprobación.

Hay que comunicar a la Administración, antes de iniciar las obras, la apertura de centro de trabajo y presentar el Plan de Seguridad y Salud aprobado por el Coordinador.

Bibliografía

Amigó Rodríguez, E. y Aguiar González, E (1994).

“Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas”. Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias.

Ferrer Gisbert, C. *et al.*, (1995). “Curso práctico sobre diseño y construcción de embalses de materiales sueltos”. Fundación para la promoción de la Ingeniería Agronómica.

Ponás Castillo, I. (1985). “Embalses de plástico”. Revista Agricultura, marzo 1985.

La depuración de aguas con filtros inundados. Nuevos materiales

► *Zamorano Toro, M.; Gómez Nieto, M.A.; Moreno Escobar, B.;
Osorio Robles, F.; Ramos Ridao, A.; Pérez Pérez, J.L.*

Universidad de Granada

Introducción

Los problemas fundamentales de los sistemas tradicionalmente utilizados para la depuración de aguas son la gran ocupación de superficie, de la que no siempre se dispone, así como el impacto ambiental que pueden producir en algunos casos, ya que son instalaciones abiertas; estos impactos son fundamentalmente de tipo visual y olores.

Con la finalidad de solucionar estos problemas se ha desarrollado una nueva tecnología en la depuración de aguas residuales: los filtros biológicos inundados. Este sistema se está utilizando desde hace ya algunos años, y están consiguiendo buenos resultados en el tratamiento de aguas residuales, proporcionando rendimientos que pueden alcanzar el 95% en eliminación de DBO_5 y del 90% en eliminación de SS. (2).

En los lechos biológicos inundados, el material soporte sobre el que se fija la biopelícula trabaja sumergido, por lo que para mantener las condiciones aerobias es necesaria una aireación forzada (5). La innovación de este sistema es que unifica dos etapas dentro del mismo reactor:

– la primera, que es donde se producen las actividades de degradación de la materia orgánica por el crecimiento bacteriano adherido al medio filtrante,

– la segunda, que es el funcionamiento simultáneo del soporte como material filtrante. A medida que el filtro se va ensuciando, tanto por la biopelícula formada, como por los sólidos retenidos, se va perdiendo capacidad hidráulica, por lo que será necesario llevar a cabo lavados periódicos para evitar colmataciones del filtro; estos lavados suelen llevarse a cabo cada 24 horas.

El material soporte utilizado en este caso es de tipo granular, con un tamaño entre 2 y 5 mm, dependiendo de las patentes existentes en el mercado, inerte y capaz de resistir la agresividad de las aguas residuales, así como los lavados a los que se somete periódicamente.

Su utilización presenta, entre otras, las siguientes ventajas frente a otros sistemas como los lechos bacterianos y los fangos activos:

– El sistema permite combinar la reducción de la contaminación biológica con la clarificación del agua, eliminando la decantación secundaria. Trabaja con cargas orgánicas e hidráulicas mayores. Todo esto se tra-

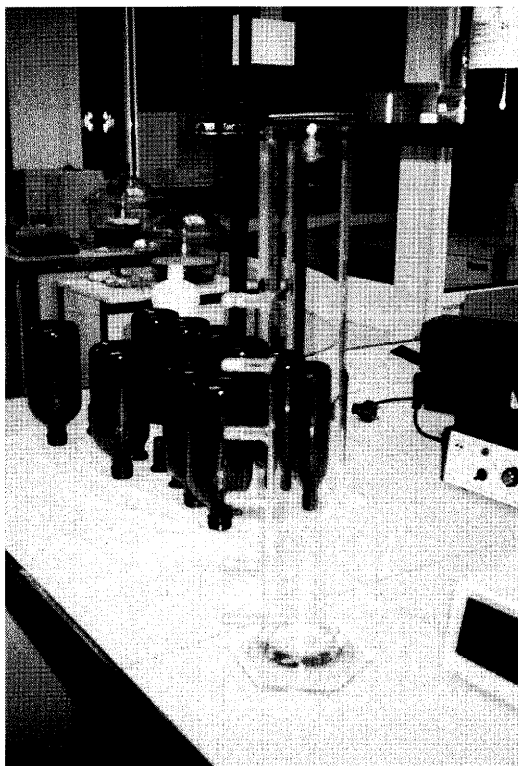


Figura 1. Planta piloto a escala de laboratorio.

duce en reducciones del volumen del reactor biológico de hasta cuatro veces con respecto a otros sistemas y hasta más de dos veces la superficie de la instalación.

- Las reducciones de superficie permiten que las instalaciones se construyan cerradas, por lo que el impacto ambiental se reduce de manera considerable.

- Se puede aplicar tanto para la eliminación de contaminación orgánica como para la eliminación de materia nitrogenada amoniacal.

- Se consigue una puesta en marcha del sistema en un corto período de tiempo.

- Acepta mayor cantidad de inhibidores, así como una menor relación DBO_5/DQO .

- Reduce el consumo energético para la aireación del reactor.

En la actualidad existen distintos materiales utilizados como soporte, desde los de naturaleza plástica, hasta los de arcillas expandidas, que están proporcionando buenos resultados, pero que sin embargo encarecen de manera sustancial el precio de la instalación de estas plantas.

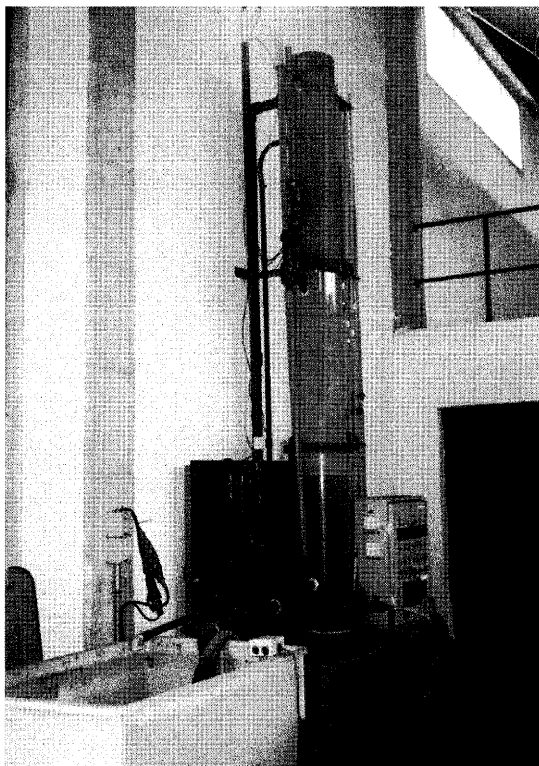


Figura 1. Planta piloto a escala semitécnica

En el Área de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Granada se pensó en la posibilidad de utilizar residuos como soportes para estos filtros inundados. Esto conseguiría un doble objetivo, la valorización de estos residuos y la reducción de los costes de primera instalación de estas depuradoras.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo esta investigación se han utilizado dos plantas piloto:

Planta piloto a escala de laboratorio

Con la finalidad de hacer un primer estudio de los rellenos se construyó una planta piloto a escala de laboratorio con el mismo esquema de funcionamiento que un filtro inundado, por gravedad, aunque sin ningún tipo de automatismo y con gran simplicidad de funcionamiento. Consiste en una probeta de cristal, que hacen el papel de reactor biológico, con un diámetro y altura de 6 y 60 cm, respectivamente; a lo largo

de las probetas se dejaron distintos puntos de entrada/salida, tanto de agua como de aire.

Esta planta piloto está formada por un filtro vertical de metacrilato transparente, de 30 cm de diámetro y 3 m de altura, que hace la función de reactor biológico. La alimentación de agua, procedente de la decantación primaria, se lleva a cabo por la parte superior de la columna. El aire de proceso se suministra mediante compresor por la parte inferior del lecho. Se dispone de un sistema de lavado regulable, con agua y aire introducidos por la parte inferior, manual o automático.

Materiales soporte

• *Relleno plástico*

En los últimos años se ha producido un gran desarrollo de la utilización de plásticos de polietileno de baja densidad en las coberturas agrícolas; una vez utilizados durante algunas campañas agrícolas son desechados por su deterioro, suponiendo un volumen importante de residuos que en su mayor parte son mal gestionados, ocasionando distintos impactos como visuales, lixiviación de restos de productos fitosanita-



Figura 3. Granza procedente del reciclado de plásticos agrícolas.

rios, o atmosféricos por incineración incontrolada. En España su producción es muy importante, sobre todo en determinadas zonas de Andalucía. En esta Comunidad, la superficie cultivada cubierta por plásticos es de 737.040.000 m², dando lugar a una producción de más de 30.000 Tm/año de residuos plásticos.

La recuperación de estos plásticos incluye su reciclado, que permite obtener una granza materia prima para producción de distintos productos, o bien valorización energética, en plásticos de baja calidad.

El grupo de investigación MITA ha utilizado la granza procedente del reciclado de plásticos agrícolas como soporte para la depuración biológica en los sistemas de filtros inundados. Esta granza procede de un proceso de fusión de los plásticos usados, para obtener de nuevo el monómero en forma de pequeñas lentejas que se utilizan luego como materia prima para la fabricación de distintos productos plásticos. Las características de este material son las siguientes: densidad 0'93-0'970 g/cm³, índice de fluidez 0'45-0'8 g/10 min, cenizas < 4'5%, color base natural y negro, espesor 1 mm, diámetro 5 mm, tamaño uniforme de todas las partículas.

• *Relleno cerámico*

Otro tipo de residuos que están generando graves problemas medioambientales son los procedentes de la construcción y demolición. Su importante volumen y poca posibilidad de compactación hace que su depósito en vertederos de lugar al agotamiento de los mismos en un corto período de tiempo; por este motivo la recuperación, reciclaje y valorización de estos residuos es la vía de gestión más adecuada para los mismos, y está siendo potenciada por la normativa vigente en la actualidad. Dentro de los residuos de construcción y demolición existe una importante fracción, que es la de naturaleza cerámica, procedente de ladrillo, forjados, etc.

El relleno cerámico utilizado en la investigación procede del machaqueo de restos de una fábrica de materiales cerámicos ubicada en Jun (Granada. Cerá-

micas SILES). Para conseguir la granulometría deseada del relleno o material soporte se procede al machaqueo, lavado y tamizado. Las características de este material son las siguientes: densidad real 2'3 g/cm³, densidad saturada 2'9 g/m³, estructura porosa, granulometrías estudiadas: 2–5 mm, 5–7 mm.

Agua residual utilizada

Estos trabajos se llevaron a cabo en una de las instalaciones que depuran las aguas residuales de la ciudad de Granada, una instalación tipo fangos activos. El agua utilizada para la planta piloto procede de la decantación primaria de la instalación.

Toma de muestras y metodología analítica

La toma de muestras se hacía diariamente. Los parámetros analizados para cada una de ellas fueron pH (in situ), DBO₅, DQO y SS, para lo que se utilizaron las técnicas analíticas establecidas por el STANDARD METHODS.

Fases de trabajo

El trabajo se ha llevado a cabo siguiendo las siguientes fases:

- 1ª fase: Estudio a escala de laboratorio del relleno plástico y cerámico.
- 2ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno plástico. Alimentación por la parte superior del lecho. Altura de lecho 1'80 m.
- 3ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno plástico. Alimentación por la parte inferior del lecho. Altura de lecho 1'80 m.
- 4ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno cerámico. Granulometría 5 a 7 mm. Altura de lecho 1'80 m.
- 5ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno cerámico. Granulometría 2 a 5 mm. alimentación por la parte superior del lecho. Altura de lecho 1'80 m.

Resultados

1ª fase: Estudio a escala de laboratorio.

El trabajo llevado a cabo durante tres meses con los materiales en las plantas piloto a escala de laboratorio mostró la resistencia de los materiales a la agresividad del agua, así como la formación de biopelícula sobre los mismos.

2ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno plástico. Alimentación por la parte superior del lecho.

– Se observan pérdidas de biopelícula como consecuencia del desprendimiento de la misma cuando esta tiene cierta entidad; esto ocurre cada 7 a 10 días. Se producen disminuciones en los rendimientos como consecuencia de estas pérdidas.

– La biopelícula desprendida se arrastra junto con el agua de salida, por lo que se hace necesaria una decantación secundaria.

– La baja densidad del material ocasiona una distribución del aire de proceso poco uniforme en el lecho, imposibilita los lavados con agua y aire en sentido ascendente ya que se producirán importantes pérdidas de relleno, y da lugar a que una zona superior quedase fuera del agua, una central sumergida, y la parte inferior con agua y fango en suspensión; se supone que el funcionamiento del lecho se hace con la combinación de tres sistemas distintos: lechos bacterianos, lechos inundados y finalmente fangos activos.

– Los rendimientos medios llegan a alcanzar valores del 77, 86 y 94% en eliminación de DQO, DBO₅ y SS, respectivamente, lo que supone unos valores de

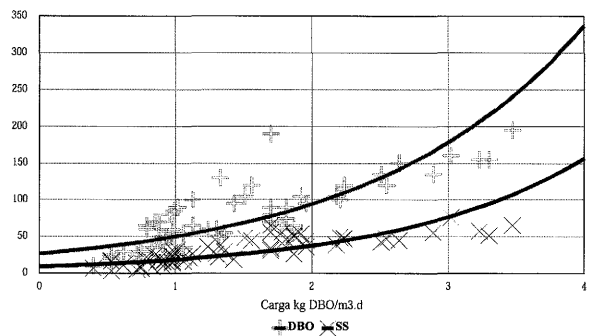


Figura 4. DBO₅ y SS de salida. Relleno plástico flujo descendente.

salida de 61, 10 y 3 mg/l, correspondiendo estos a cargas de entrada menores de 0'5 kg DBO₅/m³/d; los desprendimientos de biopelícula dan lugar a fluctuaciones importantes en estos valores.

3ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno plástico. Alimentación por la parte inferior del lecho.

Los resultados obtenidos son semejantes a los de la fase anterior, con la diferencia que se puede eliminar la decantación secundaria.

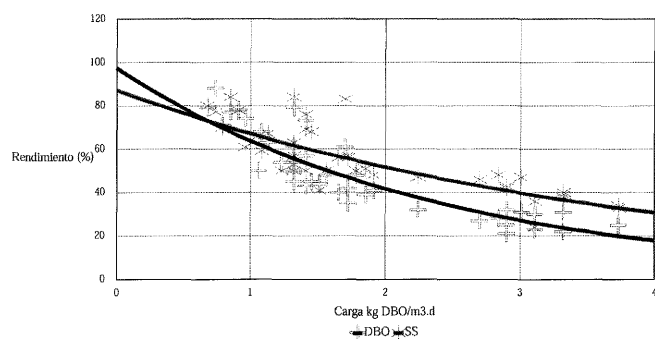


Figura 5. Rendimientos en eliminación de DBO₅ y SS. Relleno plástico flujo ascendente.

4ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno cerámico. Granulometría 5 a 7 mm.

La elevada densidad del material dificultaba los lavados de forma importante, por lo que no se podía llevar a cabo una eficiente eliminación de exceso de biopelícula y sólidos retenidos. Esta granulometría se descartó. La alimentación inferior del lecho dificultaba la eliminación de biopelícula acumulada en la parte inferior del lecho de manera eficiente.

5ª fase: Estudio a escala semitécnica del relleno cerámico. Alimentación del lecho por la parte superior. Granulometría 2 a 5 mm.

– Los rendimientos medios alcanzados son del 47% en eliminación de DBO₅ y del 50% en SS, llegándose a alcanzar, con una decantación secundaria, unos valores de salida de hasta 16 mg/l en DBO₅ y 8 mg/l en SS.

– Los valores medios exigidos por la legislación vigente para la DBO de salida se cumplen con cargas

inferiores a 1'5 kg DBO₅/m³ d. Con los SS se cumplen las limitaciones exigidas para cargas menores de 2,25 kg DBO/m³ d.

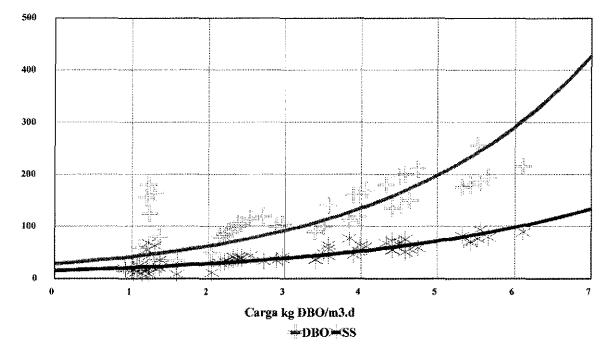


Figura 6. Valores de DBO₅ y SS. Relleno cerámico. Granulometría 2-5 mm.

– Los lavados, dada la elevada densidad del relleno, necesitan elevados consumos de aire y agua.

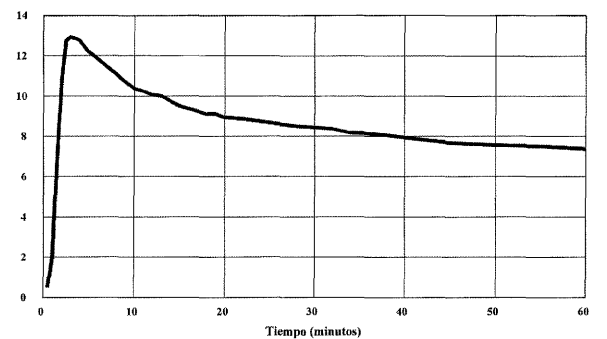


Figura 7. Sedimentabilidad del fango biológico.

– No se ha podido eliminar la decantación secundaria, aunque se trata de fangos que sedimentan con gran rapidez. En una media de 3,5 minutos se consigue la sedimentación de los fangos.

– La biopelícula se forma sobre el relleno con rapidez y en cantidad apreciable. Rápida recuperación del lecho tras los lavados; aproximadamente a las dos horas se ha conseguido recuperar los rendimientos medios de funcionamiento del lecho.

– Dados los problemas en los lavados se hace un estudio para la optimización de la altura de lecho. Con una altura de filtro entre 1 y 1'20 m. se alcanzan los mismos resultados en eliminación de DBO₅, DQO y SS que con lechos de 1'80 m.

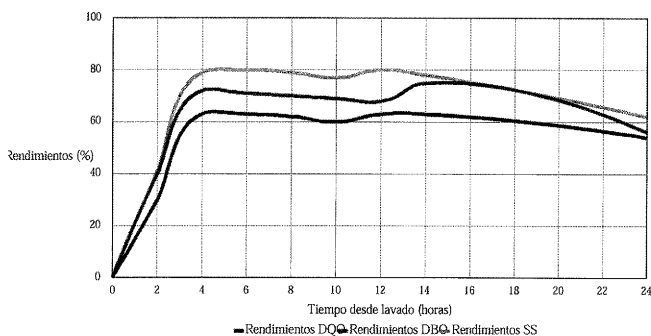


Figura 8. Recuperación del lecho tras los lavados.

Conclusiones

Los resultados expuestos permiten llegar a las conclusiones siguientes:

1. Tanto el material plástico como cerámico son adecuados para trabajar como soportes en filtros inundados, resistiendo la agresión de las aguas residuales y permitiendo un crecimiento abundante de biopelícula, aunque con algunas mejoras en materiales y sistema.
2. En el relleno plástico es necesario aumentar la densidad del material para evitar problemas de flotabilidad del relleno, arrastres o formación de caminos preferenciales. También se precisa una superficie más rugosa al material para evitar que la biopelícula se desprenda.
3. En el relleno cerámico es necesario trabajar con granulometrías de 2 a 5 mm, así como reducir la altura de lecho entre 1 y 1'20 m ya que se trata de un material con elevada densidad, dificultando el esponjamiento y descolmatación en el proceso de lavado.
4. Con el material plástico el decantador secundario puede eliminarse sólo cuando se trabaja con flujo ascendente. Tras las mejoras del material se valorará la supresión del clarificador para flujo descendente.
5. El relleno cerámico precisa de decantación secunda-

ria (o filtro de arena); la elevada sedimentabilidad del fango biológico permitirá reducir la superficie de decantación.

Bibliografía

- APHA (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 8th ed. American Public Health Association, Washington DC.
- Dillon G.R y V.K. Thomas (1989). A pilot scale evaluation of the "biocarbón process" for the treatment of settled sewage and for tertiary nitrification of secondary effluent. Conference Nice.
- Hontoria E., M. Zamorano, M.A Gómez y J. González, (1995). Tratamiento de aguas residuales. Procesos sumergidos de biopelícula. Tecnoambiente nº 47. pp. 31-33.
- PuntoMarket. Nº 4 (mayo 1998). Reciclaje de plásticos utilizados para coberturas agrícolas.
- Rogalla F. y J. Sibony, (1992). Biocarbón aerated filters-ten years after: past, present, and plenty of potential. Wat. Res. Vol. 26, nº 9-11, pp. 2.043-2.048.
- Vedry B., C. Paffoni, M. Gousailles, C. Bernand, (1993). First months operation of two biofilter prototypes in the waste water plant of Acheres. Second International Specialized Conference on Biofilm Reactors (Paris-Francia).
- Zamorano M. (1996). Estudio comparativo de rellenos en sistemas de depuración de lechos inundados. Tesis doctoral. Granada.
- Zamorano M., M.A. Gómez, J. González y E. Hontoria, (1995). Material de soporte y fuentes de carbono en procesos de lechos inundados. Tecnoambiente nº 52. pp. 39-42.

Infraestructuras hidráulicas en comunidades de regantes

■ **Hernández, Fca.; Martínez, J.; Martínez-Font, R.**

Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández de Elche

■ **Martínez, M.; Legua, P.**

Ingenieros Agrónomos

Introducción

Hasta hace una treintena de años, los objetivos de la planificación hidráulica se centraban en el desarrollo de los recursos hidráulicos de un país o de una cuenca a través de grandes obras hidráulicas con la finalidad última de impulsar el desarrollo económico o social.

Los dos grandes problemas que se afrontaban eran la superación de los déficits de agua y el disminuir los daños de las inundaciones. Sin dejar de considerar estos problemas como fundamentales, en la actualidad el foco de la atención está puesto en la calidad del agua y su deterioro por la contaminación.

En regiones áridas, como es el caso de la Comunidad Valenciana, el problema es agudo, pues compiten por ella los abastecimientos, riegos, industrias, producción de energía eléctrica, necesidades de refrigeración, requerimientos ecológicos para mantener la pesca y vida acuática y las medio-ambientales y recreativas. Las tensiones por los problemas del agua se pueden resolver o paliar a través del proceso de planificación hidrológica, que ha de contemplar

los grandes objetivos nacionales y también los de la Comunidad y los de cada uno de los usuarios y ciudadanos.

Si centramos el problema de planificación en el sector de los regadíos, tenemos que considerar que el regadío es un elemento fundamental de la estructuración del paisaje y una de las variables territoriales que configuran decisivamente la demanda total de los recursos hídricos. Es el sector más relevante, tanto en términos de ocupación de superficie, como de utilización y consumo de agua. Sin embargo, el descenso de la actividad agrícola y el auge de los servicios parece, desde luego, imparable. La ocupación en el sector agrícola se ha reducido, en apenas 10 años, a casi la mitad y cabe vaticinar que estas tendencias continuarán y previsiblemente para el 2010 se habrá reducido otro 50%. A pesar de este retroceso, debe señalarse la relativamente elevada dependencia que aún se registra en gran parte del territorio español respecto del sector primario, de ahí la importancia que tiene la planificación de los regadíos y sus infraestructuras en la planificación hidráulica.

Problemas del suministro de agua para riego

En algunos de los regadíos existentes se producen problemas en el suministro de agua, de manera que no siempre disponen de la cantidad necesaria y suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos implantados en la zona.

Los problemas de garantía se han manifestado de forma especialmente contundente en los últimos años. A pesar de la infraestructura de regulación existente, la larga duración de algunas secuencias de años secos produce, con cierta frecuencia, fallos en el suministro de agua para riego.

Además de los problemas de garantía, en ocasiones se produce una falta de adecuación en la entrega de las cantidades requeridas.

Otro de los problemas relacionados con el suministro se refiere a la eficiencia del riego, estrechamente vinculada con la conservación de recursos hídricos. En el caso del regadío, la eficiencia no sólo se refiere al proceso de conducción y distribución del agua, en el que pueden producirse pérdidas importantes por filtración y vertidos, sino al propio proceso de su aplicación a los cultivos, en el que un exceso de agua, además de las pérdidas consiguientes, puede originar problemas de salinización si no se dispone de drenajes adecuados.

Las pérdidas en conducción y distribución dependen, en gran medida, del estado y características de las infraestructuras. De los más de 100.000 km de acequias de que consta actualmente la red distribución, una buena parte son cauces de tierra (sin revestir). Aproximadamente el 30% de la red tiene más de 100 años de antigüedad y una gran parte del resto cuenta con más de 20 años. El envejecimiento y deterioro de estas redes es una de las causas de las pérdidas de agua en los canales y acequias, que se traducen en menores volúmenes disponibles para los cultivos, si bien esos recursos pueden ser, generalmente, utilizados aguas abajo. Todo ello pone de relieve las necesidades de rehabilitación y modernización de las redes en determinadas zonas del regadío español.

Regadíos

La implantación de los regadíos en el sureste español es antiquísima, existiendo abundantes documentos de la época de dominación árabe que confirman tal tradición y revelan una red de regadío (azudes, acequias y azarbes) que prácticamente se ha mantenido hasta hoy.

La tradición de regadío ha ido aumentando gracias a las obras de regulación en las cuencas, y por los nuevos sistemas de captación subterránea que permitieron transformar en regadío superficies no dominadas por gravedad y muy alejadas de las áreas tradicionales.

Estos regadíos consolidados con anterioridad, establecidos por gravedad o con ayuda de impulsión, bien de captación subterránea o superficial, se mejoran día a día por medio de la mayor tecnificación de los mismos.

Infraestructuras hidráulicas

La conexión entre los recursos y los usos se produce mediante un sistema de infraestructuras hidráulicas de captación, transporte, almacenamiento, depuración, potabilización, protección, etc...

La evolución de las infraestructuras hidráulicas se pueden resumir en:

- Presas. Regulan los cauces.
- Azudes de derivación. Son pequeñas presas que suelen servir para forzar la derivación del agua desde un cauce a una acequia.
- Obras de captación. Elevación desde pozos o desde río o acequias por medio de bombas hidráulicas, que se pueden clasificar en:

- Bombas rotodinámicas o turbobombas
 - Centrífugas
 - Helicoidales o Helicentrífugas
 - De hélice

- Bombas volumétricas o de desplazamiento

| | | | |
|---|-----------------|---|----------------|
| { | - Alternativas | { | - De émbolo |
| | | { | - De membrana |
| { | - Rotoestáticas | { | - De engranaje |
| | | | - De paletas |
| | | | - De tornillo |

- Bombas gravimétricas (cigüeñas, elevadores de cangilones, tornillo de arquímedes, norias, etc...)

- Conducciones de abastecimiento. Son las conducciones que suministran los recursos a las zonas de consumo. Estas conducciones se pueden clasificar en:

- Conducciones por gravedad

| | |
|---|---|
| { | - Acequias de tierra |
| | - Acequias de hormigón |
| | - Acequias de manpostería |
| | - Tuberías (hormigón, PVC, fibrocemento, polietileno, etc...) |
| | |

- Conducciones forzadas (básicamente por tuberías de diversos diámetros y diversos materiales)

- Conducciones de riego. Estas conducciones tienen una gran cantidad de variantes, que van desde antiguas conducciones en tierra hasta sistemas automatizados. Se puede establecer la siguiente clasificación:

- Canales {
 - En tierra
 - Hormigón
 - Manpostería
- Tubería {
 - Gravedad
 - Presión

- Redes de azarbes. Estas redes recogen las aguas de drenaje, por medio de azarbetas o escorredores. Las principales redes se encuentran en:

- * Cauces de tierra
- * Cauces de manpostería
- * Cauces de hormigón
- * Tuberías de hormigón

* Tuberías de PVC perforada (estas en redes secundarias o terciarias)

- Instalaciones de depuración. Instalaciones que recogen los vertidos de saneamiento urbano e industrial y puede aportar caudales al riego.

Los contaminantes presentes en las aguas pueden eliminarse por medios físicos, químicos o biológicos, que se utilizan conjuntamente, según diversas combinaciones, en los sistemas de tratamiento. Estas operaciones y procesos se agrupan para constituir:

- Sistema primario: Operaciones físicas (sedimentación, flotación separación de grasas y aceites y neutralización).

- Sistema secundario: Procesos químicos y biológicos.

- Sistema terciario: Procesos físicos, químicos y biológicos.

- Instalaciones de desalación. Son instalaciones que eliminan parcialmente el contenido salino del agua. Se pueden clasificar tres grandes categorías de técnicas de desalación:

a) Procesos que actúan por medio de los enlaces químicos: Intercambio iónico.

b) Procesos que utilizan membranas de transporte selectivo: Electrodialisis y ósmosis inversa.

c) Procesos basados en el cambio de estado: Congelación y evaporación.

Actuaciones presentes y futuras

La zona de la Vega Baja del Segura es un ejemplo donde conviven sistemas de los azarbes y modernas instalaciones con nuevas tecnologías.

Todavía se pueden observar cauces en tierra, aunque afortunadamente ya son los menos. Estos cauces se caracterizan por tener gran proliferación de malas hierbas, aterramientos frecuentes y con todo esto grandes pérdidas por infiltración.

Durante este siglo la Confederación Hidrográfica del Segura, el IRYDA y la Consellería de Agricultura Pesca y Alimentación junto con los Juzgados de Aguas y Comunidades de Regantes han realizado grandes esfuerzos e inversiones para mejorar una red de riego y avenamiento, bastante deficiente por problemas que ofrecían los cauces en tierra.

Las principales actuaciones hasta la fecha han consistido en canalizar las grandes acequias de riego y avenamiento en manpostería y hormigón, con son:

- Acequia de Callosa.
- Acequia de Almoradí.
- Acequia de Molina.
- Acequia de los Huertos.
- Acequia de Alquibla.
- Acequia de Almoravít.
- Acequia de Murcia del partido.
- Acequia de Escorantel.
- Acequia del Mudamiento.
- Azarbe de Mayayo.
- Azarbe de Millanares.
- Azarbe del Convenio.
- Azarbe Simón y Moncada.
- Azarbe de las Puertas de Murcia.
- Azarbe de Abanilla.
- Azarbe de Hurchillo.
- Azarbe de Los Caballos.
- Azarbe de La Gralla.
- Azarbe de Bonanza.
- Etc...

Otras actuaciones importantes han consistido en canalizaciones y entubamientos, compuertas por arrobas, brazales, azarbes, azarbetas y escorredores. En este capítulo ha contribuido en gran medida el Decreto 47/1987 de 13 de abril del Consell de la Generalitat Valenciana, sobre obras para la mejora y modernización de los regadíos tradicionales con el que la Consellería de Agricultura contribuye con subvenciones del 40% de las inversiones totales.

Estas medidas citadas anteriormente han contribuido a facilitar la toma de volúmenes requeridos por cada zona, mejorar la calidad de las aguas aplicadas, y mejorar la eficiencia global del sistema de riegos. En la Vega Baja del Segura estas actuaciones han tenido una gran importancia, sabiendo que la utilización del agua de drenaje de la Vega Media y parte de la Vega Baja se convierte en agua aprovechable para riego, y el tener acequias en tierra agrava el problema de salinización y de contaminación de las aguas.

Con la importancia de estas actuaciones no han conseguido resolver los problemas de regadío de la Vega Baja, que siguen en cambio constante, por tener una agricultura intensiva donde los cítricos y las hortalizas son los principales exponentes.

La red primaria y secundaria de riego y avenamiento no soluciona los problemas de continuidad, ya que se buscan nuevos recursos como son:

- Aprovechamiento de aguas subterráneas.
- Aprovechamiento de aguas depuradas.
- Aprovechamiento de aguas desalinizadas.

Para realizar los aprovechamientos de estos recursos se utilizan normalmente otros medios, aunque a veces también son compatibles con la red de acequias existentes. Estos medios son embalses de pequeña y media capacidad, redes de tubería a presión, sistemas de riego localizado, sistemas de medida y control y sistemas de automatización.

Un buen ejemplo de los pasos seguidos por la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación en la zona más meridional de la Comunidad Valenciana es la puesta en marcha de PAYDES (Plan de Aprovechamiento y Distribución de Aguas Depuradas y Salinas de Alicante). Esta zona cuenta con una necesidad mínima estimada de 60.000.000 m³ y solo dispone de 21.000.000 m³ en concesiones, produciéndose un déficit de 40.000.000 m³.

Mientras se pone en marcha el Plan Hidrológico Nacional, que pueda trasvasar aguas de otras cuencas

a la muy deficitaria del Segura, la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación viene intentando resolver el déficit mediante el aprovechamiento de las aguas residuales y la desalinización de aguas salobres mediante el procedimiento de ósmosis inversa.

En la zona costera se reutiliza un volumen de 8.000.000 m³ financiadas por la Consellería de Agricultura para el riego de las tierras del contorno.

En el apartado de obtención de aguas por ósmosis inversa a partir de aguas salobres del subsuelo se ha

incidido mediante subvenciones a las Comunidades de Regantes e inversores directos, consiguiéndose la ejecución de 16 plantas desalinizadoras, con un caudal permeado de 473,9 l/hora que equivalen a 15.000.000 m³/año y las obras necesarias para conectar las aguas salobres a la planta, y desde la planta a los acueductos, uno que va a la red de riego y otro que transporte el agua de rechazo de pésima calidad al mar.

Como actuaciones más importantes del PAYDES se pueden destacar las siguientes:

| Comunidad de Regantes | Embalses | OBRAS REALIZADAS | | | PRESUPUESTO | |
|---|----------|--------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| | | Conducciones (m/l) | Sup. Riego por goteo (Ha) | P. Desalinizadoras (l/s) | Importe de la Obra | Importe de la subvención |
| C.R. "Santo Domingo" | 40.498 | 32.016 | 227 | 100 | 747.188.432 | 298.875.164 |
| C.R. "Campo Salinas" | 334.180 | 34.574 | 97 | 50 | 649.969.491 | 249.579.790 |
| C.R. "Riegos de Levante" | 106.526 | 3.185 | 168 | 150* | 155.000.000 | 62.000.000 |
| C.R. "Torre Miguel" | 200.000 | 33.202 | • | 50 | 569.266.312 | 207.734.136 |
| C.R. "Las Cañadas" | 105.836 | 1.515 | • | • | 81.452.201 | 31.012.000 |
| C.R. "La Estafeta" | 68.740 | • | 44 | • | 62.999.440 | 25.199.000 |
| C.R. "Jacarilla grupo 2000" | 164.759 | 15.651 | 250 | 100 | 876.700.490 | 712.480.000 |
| C.R. "Río Nacimiento" | 300.000 | • | 250 | 50 | 201.739.378 | 60.000.000 |
| C.R. "San Miguel" | 98.162 | 4.292 | 250 | 100 | 509.558.354 | 193.736.427 |
| C.R. "Explotaciones Agrícolas del mediterráneo" | | 7.000 | • | 20 | 130.350.403 | 165.685.000 |

Fuente: Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.

*En ejecución

3.984.224.5012.006.301.517

| | | | | | |
|--|---|-----------------|-------------------------------------|---|--|
| | | Desalinizadoras | | | |
| Río Nacimiento | 1 | 50 l/seg. | Riegos Levante | (En proyecto) a efectos salmuerodutos 150 l/seg | |
| | | | Mengoloma | A efectos salmuerodutos 10 l/seg. | |
| | | | Superficie Riego afectada por Obras | 12.000 Ha | |
| | | | | | |
| Torre Miguel | 2 | 50 l/seg. | | | |
| Campo Salinas | 1 | 50 l/seg. | | | |
| San Miguel | 6 | 100 l/seg. | | | |
| Jacarilla | 1 | 100 l/seg. | | | |
| Santo Domingo | 4 | 100 l/seg. | | | |
| Explotaciones Agrícolas del Mediterráneo | 1 | 20 l/seg. | | | |
| | | 16 | 470 l/seg. = 15.000.000 m³/año | | |

EN PROYECTO

| | |
|--|------------------------------------|
| Desalización: | Riego localizado: |
| Comunidades afectadas: 12 | Solicitado: 3.000 Ha. |
| Caudal Permeado Solicitado: 777 l/seg. | Embalses reguladores: 1.100.000 m³ |
| Caudal Permeado en m³/año: 24.500.000 m³ | |

Fuente: Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación.

En este momento en el Levante español, y en especial en la Comunidad Valenciana, se llevan a cabo distintas actuaciones además de las citadas, que subvencionadas por la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, tienen por objeto la mejora y racionalización del agua de riego en las Comunidades Regantes.

Un ejemplo clásico puede incluir las siguientes obras:

- a) Impulsión o derivación.
- b) Embalse.
- c) Conducciones de riego primaria y secundaria.
 - Tuberías.
 - Obras de fábrica
 - Válvulas hidráulicas
 - Contadores volumétricos
 - Válvulas de corte y retención
 - Ventosas
- d) Estaciones de filtrado.
- e) Hidrantes de agua.
- f) Automatización de las instalaciones.
- g) Obra civil
 - Arquetas
 - Casetas
 - Reposición de servicios
- h) Instalación de riego en parcela (unidades y subunidades de riego). fundamentalmente riego localizado.

Bibliografía

Cabrera, E. et al (1987), "Curso de Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua". Instituto de estudios de Administración local.

Cabrera, E. et al (1989), "El agua en la Comunidad Valenciana". Generalitat Valenciana.

De Paco, J.L. (1992), "Fundamentos del cálculo hidráulico en los sistemas de riego y de drenaje". Mundi-prensa; MAPA.

Pizarro, F. (1996), "Riegos localizados de alta frecuencia". Mundi-prensa.

Torres, J.E. (1971) "Hidráulica". EPSIA-UPV.

Evaluación de instalaciones de riego localizado en la Vega Baja del Segura

▀ **Abadía Sánchez, R.; Hernández Hernández, R.; Puerto Molina, H.; Ruiz Canales, A.**

División de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Universidad Miguel Hernández

▀ **Ortega Alvarez, J.F.**

Centro Regional de Estudios del Agua. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha

Introducción

La Vega Baja del Segura está ubicada al sur de la Comunidad Valenciana en la provincia de Alicante, limítrofe con la Región de Murcia, siendo la cola de la Cuenca Hidrográfica del Segura. El sistema de riego tradicional existente se encuentra en fase de regresión, debido a la escasez de recursos hídricos y a la mala calidad del agua de riego disponible. Existen varios proyectos que contemplan un plan de modernización integral de todo el regadío tradicional, pero que hasta la fecha no ha encontrado el apoyo y las autorizaciones necesarias por parte de los organismos competentes en materia de regadíos.

La comarca está dividida en un total de 27 términos municipales de los cuales 22 están dentro del perímetro del regadío tradicional, ocupando una superficie total de unas 25.000 hectáreas. Los cultivos actualmente predominantes son los arbóreos, en un 70%, entre los que destacan los cítricos, y los hortícolas, en un 27%, entre los que destaca la alcachofa, lechuga y patata. El resto son cultivos industriales y forrajeros (Granero, 1998).

Diversos estudios llevados a cabo por la Consellería de Agricultura y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana y la Diputación de Alicante, concluyen que la solución más adecuada es el cambio de sistema de riego, introduciendo el sistema de riego localizado. Esta solución la están adoptando los agricultores de forma individual, teniendo que recurrir a aguas de pozos para poder garantizar la alta frecuencia que exige el riego por goteo. Estas transformaciones individuales exigen la construcción de pequeños embalses para poder almacenar, junto con las aguas de los pozos, las dotaciones de agua que las parcelas tienen asignadas por pertenecer a zonas de regadío tradicional, y que reciben cada vez con menos frecuencia por la red acequias. La superficie que actualmente ha transformado su sistema tradicional de riego a riego localizado en la Vega Baja supone un 5% de la superficie total regable, según datos de la Dirección Territorial de Alicante de la Consellería de Agricultura y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.

Los pozos tienen una característica común, poca profundidad y mala calidad del agua. La Conductividad Eléctrica media es de 4.681 mS/cm y el contenido

medio de sodio de 714,51 mg/l (Martínez y Gimenez, 1996). Con estos niveles de sales, para asegurar la producción se recurre aplicar agua en exceso que garantice el lavado de sales. En este sentido, la uniformidad de emisión del sistema adquiere gran relevancia, ya que para asegurar el lavado de sales en los árboles que reciben menos agua por falta de uniformidad, se aplica un exceso en los que el caudal aportado es mayor. Esta lámina de percolación, por encima de la requerida como fracción de lavado, es tanto mayor cuanto menor es la uniformidad de emisión.

Con este trabajo se pretende analizar el funcionamiento de las instalaciones de riego por goteo ubicadas en zonas de regadío tradicional de la Vega Baja, centrándose en la determinación de la uniformidad de riego y resaltando algunos aspectos relacionados con el manejo de las mismas.

Material y métodos

Se han realizado un total de 19 evaluaciones simplificadas de instalaciones de riego por goteo, correspondientes a 19 fincas localizadas en la zona de regadío tradicional de la Vega Baja. Las fincas han sido seleccionadas de forma aleatoria, con superficie y cultivos variables, estando ubicadas en diferentes términos municipales.

El método para la realización de las evaluaciones, se basa en las recomendaciones de Merriam y Keller (1978), mantenidas en diferentes aspectos en trabajos posteriores (Castell, 1985; Arviza, 1989; Keller y Bliesner, 1990; Tarjuelo, 1993; Ferrer, 1999). El procedimiento consiste en elegir la subunidad más representativa de todas las del sector a analizar, y en ella medir el caudal y la presión en 16 plantas. Para ello, se medirá en cuatro laterales de la subunidad, el de mayor presión, el de menor presión y otros dos de presión intermedia, que en caso de que la terciaria tenga pendiente nula corresponden con el primer lateral, el último, y los laterales situados a 1/3 y 2/3 del inicio de la terciaria. En cada lateral se eligen cuatro plantas

siguiendo un criterio similar (mayor presión, menor presión y dos de presión intermedia). Las medidas de caudal se han realizado recogiendo el volumen emitido por los goteros en una cubeta de poca altura, durante un tiempo de 5 minutos, aforando dicho volumen en una probeta graduada. Las medidas de presión fueron tomadas con un manómetro digital adaptándole un acople rápido.

Junto con las medidas tomadas en campo, se ha encuestado a los agricultores para obtener información sobre la programación de riegos seguida a lo largo del ciclo de cultivo, la fertilización, los criterios tenidos en cuenta para su determinación, así como la programación de limpiezas, con el objetivo de poder conocer el manejo del sistema.

A partir de los datos medidos, los parámetros obtenidos para caracterizar la uniformidad han sido los siguientes:

1. Uniformidad de Emisión (UE). Este parámetro es el que define la uniformidad básica del sistema y se determina mediante la relación entre el caudal medio emitido por el 25% de los emisores de menor caudal y el caudal medio emitido en todos los emisores:

$$UE(\%) = \frac{\overline{q_{25\%}}}{\overline{q}} * 100 \tag{1}$$

Según los valores obtenidos para la UE se clasifica la instalación evaluada, de acuerdo con el criterio de Merriam y Keller (1978) y el mantenido por el IRYDA (1983) para sus actuaciones, algo más exigente, tal como se muestra en la Tabla 1.

2. Uniformidad de Emisión Absoluta. Definido por Keller y Karmeli (1974), se trata de un parámetro que tiene en cuenta en la uniformidad no solo la falta de agua en determinadas plantas sino también el exceso:

$$UE_a = 0,5 * \left(\frac{\overline{q_{25\%}}}{\overline{q}} + \frac{\overline{q}}{\overline{q_{12,5\%}}} \right) \tag{2}$$

siendo: el caudal medio recibido por el 12,5% de las

plantas que mayor caudal reciben en la subunidad ensayada.

Tabla 1
Clasificación de las instalaciones según el valor de la Uniformidad de Emisión (UE)

| UE (%) | Clasificación Merriam y Keller (1978) | Clasificación IRYDA (1983) |
|---------|--|-------------------------------|
| < 70 | Pobre | Inaceptable |
| 70 – 80 | Aceptable | Pobre |
| 80 – 86 | Buena | Aceptable |
| 86 – 90 | Buena | Buena |
| 90 – 94 | Excelente | Buena |
| > 94 | Excelente | Excelente |

3. Coeficiente de Uniformidad debida a Presiones (Up) propuesto por Bliesner (1976) y mantenido por numerosos autores (Merriam y Keller, 1978; Arviza, 1989; Keller y Bliesner, 1990; Tarjuelo, 1993; Ferrer, 1999). Es una medida de la uniformidad potencial de la subunidad, consecuencia de considerar solamente la variabilidad de presiones, al margen de otros parámetros como la variación de fabricación de los emisores, las obstrucciones de emisores, su envejecimiento, etc. Se define, análogamente a la UE, según la ecuación 3.

$$U_P = \left(\frac{\overline{P_{25\%}}}{\overline{P}} \right)^x \tag{3}$$

siendo: P_{25%} la media del 25% de los emisores con más baja presión (mca); la presión media de todos los emisores de control (mca); y x el exponente de descarga de la curva característica del emisor ensayado (q(l/h) = k · h(mca)^x). Un valor elevado de la Up (mayor del 90%) y bajo de la UE indica que los problemas de falta de uniformidad son debidos a los emisores, por el contrario, un valor bajo de la Up (menor del 90%) y bajo de la UE indica que el problema de la falta de uniformidad puede ser debida a las presiones o a los emisores.

4.- Coeficientes de Variación de Caudales, Presiones y debido a Emisores. El Coeficiente de Variación de Caudales por planta (ecuación 4), se usa frecuentemente para catalogar la uniformidad de reparto de la subunidad (Tabla 2).

Tabla 2
Clasificación de las subunidades de riego localizado en función de CVq

| CVq | Uniformidad: Clasificación |
|-----------|----------------------------|
| > 0,4 | Inaceptable |
| 0,4 – 0,3 | Baja |
| 0,3 – 0,2 | Aceptable |
| 0,2 – 0,1 | Muy buena |
| < 0,1 | Excelente |

El Coeficiente de Variación de Presiones (CV_p), se define igual que el de caudales, pero con presiones (ecuación 5). La interpretación de estos dos coeficientes de variación conjuntamente, supone una interesante herramienta para caracterizar el origen de la falta de uniformidad detectada en un proceso de evaluación; con este fin se define el Coeficiente de Variación de Caudales por planta debido a los Emisores (CV_e), cuya expresión de cálculo se encuentra recogida en la ecuación 6.

$$CV_q = \sigma_q / \overline{q} \tag{4}$$

$$CV_p = \sigma_p / \overline{p} \tag{5}$$

$$CV_e = \sqrt{CV_q^2 - x^2 * CV_p^2} \tag{6}$$

Los criterios seguidos para profundizar en las causas que originan falta de uniformidad en la instalación son los siguientes (Arviza, 1989; Keller y Bliesner, 1990; Rodrigo et al., 1992; Tarjuelo, 1993; Ferrer, 1999):

– Un valor de CV_e superior a 0,2 indica que la falta de uniformidad es debida a los emisores, bien como

consecuencia de su calidad (alto CV de fabricación) o, bien, a la existencia de obstrucciones de cualquier tipo y naturaleza.

– Si el valor del CV_e es inferior a 0,2, y además existe falta de uniformidad ($CV_q > 0,3$, no aceptable, Tabla 2), los problemas son de naturaleza hidráulica (mala regulación de presiones, diseño hidráulico inadecuado, oscilaciones de presión inadmisibles durante el tiempo de riego, etc.).

5. Uniformidad de Emisión del Sector (UE_s). Propuesto por Merriam y Keller (1978) y mantenido posteriormente por numerosos autores (ecuación 7). Se obtiene a partir de la UE de la subunidad testada corrigiéndola mediante un factor multiplicativo (f) que considera la distribución de presiones entre las subunidades que conforman el sector de riego. El cálculo de este factor (f) se recoge en la ecuación 8.

$$UE_s = f * UE \tag{7}$$

$$f = \left(\frac{p_{ms\ 25\%}}{p_{ms}} \right)^x \tag{8}$$

siendo: $p_{ms\ 25\%}$ presión media del 25% de los valores mínimos de presión, medida al inicio del lateral, en todas las subunidades de la unidad operacional de riego (mca); presión media de los valores mínimos de presión, medida al inicio del lateral, de todas las subunidades de la unidad operacional de riego; y x el exponente de descarga de la ecuación característica del emisor instalado ($q(l/h) = k \cdot h(mca)^x$).

Los valores del exponente de descarga de los distintos emisores encontrados en las instalaciones se han determinado mediante el ensayo en el banco de emisores del Laboratorio de Hidráulica y Riegos de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO, UMH). Se ha trabajado con una muestra de cuatro emisores tomados de la instalación estudiada y cinco presiones de trabajo (5, 10, 15, 20 y 30 mca), considerando las recomendaciones de evaluación para la determinación del coeficiente de variación de fabricación recogidas en la

Norma UNE 68-076 (1989), referente a emisores de riego localizado.

Resultados y discusión

En la Tabla 3 se muestran algunos datos de las explotaciones agrícolas analizadas (fecha de la evaluación, superficie total de la finca, cultivos, tipo y número de emisores instalados y número de subunidades de riego en el sector ensayado). La superficie total de las fincas evaluadas es de 493,86 hectáreas, lo que supone el 39,5% de la superficie de la Vega Baja puesta en riego por goteo.

A la vista de estos datos se observa una predominancia del gotero autocompensante frente al gotero no compensante. El 68,4% de las explotaciones evaluadas tienen gotero compensante frente al 31,6 % con gotero no compensante.

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la Uniformidad de Emisión (UE) y la Uniformidad de Emisión Absoluta (UE_a) de las subunidades testadas en cada finca así como la clasificación de los resultados de acuerdo con el criterio presentado en la Tabla 1.

Se observa que en las subunidades testadas de las 19 instalaciones analizadas, según el criterio de clasificación del IRYDA, un 10,5% tienen una Uniformidad de Emisión Excelente, un 47,4% Buena, un 10,5% Aceptable, un 10,5% Pobre y 21% inaceptable, siendo la Uniformidad de Emisión media Aceptable (83,31%), con valores máximos y mínimos del 94,6% y el 57,86% respectivamente. Estos valores están representados en la Figura 1.

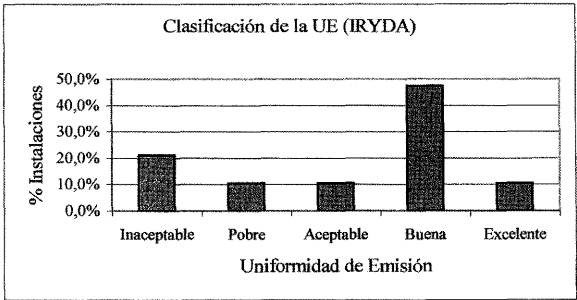


Figura 1. Clasificación de la UE según el criterio del IRYDA.

Tabla 3

Explotaciones ensayadas. Fecha de evaluación, superficie total de la finca, cultivos, número de emisores y tipo de emisor y número de subunidades en la unidad operacional de riego

| Explotación N° | Fecha | Superficie (ha) | Cultivos | N° (e/planta) y tipo emisor | N° subunidades |
|----------------|----------|-----------------|-----------|-----------------------------|----------------|
| 1 | 17-12-98 | 29,6 | Naranja | 2 SL AU | 6 |
| 2 | 23-12-98 | 200,5 | Alcachofa | 0,25 IL NAU | 10 |
| 3 | 18-1-99 | 9,0 | Naranja | 6 SL NAU | 3 |
| 4 | 4-2-99 | 2,1 | Limonero | 2 SL AU | 4 |
| 5 | 2-3-99 | 64,5 | Naranja | 4 SL AU | 3 |
| 6 | 4-3-99 | 30,4 | Alcahofa | 0,25 IT AU | |
| | | | Naranja | 4 SL AU | 6 |
| 7 | 8-3-99 | 3,0 | Naranja | 3 SL NAU | 2 |
| 8 | 9-3-99 | 2,5 | Naranja | 3 SL NAU | 2 |
| | | | Limonero | 3 SL NAU | |
| 9 | 19-11-99 | 12 | Naranja | 4 SL AU | 6 |
| | | | Limonero | | |
| 10 | 26-11-99 | 2 | Naranja | 6 SL AU | 4 |
| 11 | 2-12-99 | 0,71 | Naranja | 3 SL AU | 1 |
| 12 | 10-12-99 | 0,85 | Naranja | 2 SL AU | 2 |
| 13 | 25-1-00 | 7 | Naranja | 5 SL NAU | 8 |
| | | | Limonero | | |
| 14 | 16-2-00 | 35 | Naranja | 4 SL AU | 8 |
| 15 | 29-2-00 | 4,2 | Naranja | 2 SL AU | 6 |
| 16 | 7-3-00 | 19 | Naranja | 3 SL AU | 1 |
| 17 | 8-3-00 | 12 | Naranja | 1 SL NAU | 4 |
| 18 | 14-3-00 | 41,5 | Naranja | 2 SL AU | 4 |
| 19 | 15-3-00 | 18 | Naranja | 3 SL AU | 8 |

SL, emisor colocado sobre línea; AU, emisor autocompensante; IL, emisor colocado interlínea; NAU, emisor no autocompensante; IT, emisor colocado integrado.

En la Tabla 5 se muestra el valor de Q_{up} en m.c.a. y la Up (%) en la subunidad testada. Si comparamos los resultados de la Up con los de la UE mostrados en la Tabla 4, se observa que en las fincas 2, 3, 6, 16 y 19, la falta de uniformidad de emisión es debida a los emisores, ya que todas tienen una elevada uniformidad en las presiones. En cuanto a la presión media de funcionamiento de los emisores, se observa una gran variabilidad, con valor mínimo de 3,14 m.c.a. y máximo de 25,30 m.c.a. Estos valores indican que el caudal que arrojan los emisores va a ser muy distinto a su

caudal nominal, sobre todo en emisores no compensantes. En el caso de fincas con emisores autocompensantes, en el 30,7% de los casos se trabaja fuera del rango de autocompensación (fincas n° 1, 4, 6, 10 y 17). Si se comprueba la uniformidad de emisión de estas fincas mostrada en la Tabla 4 se observa que es, en general, aceptable, lo que indica que el caudal emitido es uniforme desde el punto de vista cualitativo, pero cuantitativamente difiere del inicialmente previsto, lo que limita la posibilidad de programar la dosis de riego a aplicar.

Tabla 4
Resultados al nivel de subunidad testada de UE y UEa y clasificación dela UE obtenida

| FINCA | UE (%) | Clasificación (Merriam y Keller , 1978) | Clasificación (IRYDA, 1983) | UEa (%) |
|-------|--------|--|--------------------------------|---------|
| 1 | 89,4 | Buena | Buena | 90,1 |
| 2 | 68,8 | Pobre | Inaceptable | 64,5 |
| 3 | 53,3 | Pobre | Inaceptable | 61,8 |
| 4 | 86,6 | Buena | Buena | 88,8 |
| 5 | 93,5 | Excelente | Buena | 94,6 |
| 6 | 69,2 | Pobre | Inaceptable | 76,8 |
| 7 | 79,1 | Aceptable | Pobre | 78,0 |
| 8 | 94,6 | Excelente | Excelente | 95,2 |
| 9 | 94,2 | Excelente | Excelente | 94,0 |
| 10 | 83,6 | Buena | Aceptable | 84,9 |
| 11 | 89,9 | Buena | Buena | 89,8 |
| 12 | 90,0 | Excelente | Buena | 90,0 |
| 13 | 86,8 | Buena | Buena | 88,4 |
| 14 | 93,7 | Excelente | Buena | 88,1 |
| 15 | 87,0 | Buena | Buena | 87,0 |
| 16 | 78,0 | Aceptable | Pobre | 83,8 |
| 17 | 82,4 | Buena | Aceptable | 78,9 |
| 18 | 92,6 | Excelente | Buena | 90,5 |
| 19 | 43,7 | Pobre | Inaceptable | 57,9 |

Tabla 5
Resultados de Up al nivel de subunidad testada

| FINCA | P | Up(%) | FINCA | P | Up(%) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 3,79 | 97,5 | 11 | 16,74 | 99,9 |
| 2 | 10,14 | 88,8 | 12 | 18,43 | 99,9 |
| 3 | 3,14 | 90,0 | 13 | 3,64 | 94,8 |
| 4 | 7,54 | 93,1 | 14 | 10,26 | 99,6 |
| 5 | 22,36 | 99,2 | 15 | 22,93 | 99,8 |
| 6 | 6,14 | 96,1 | 16 | 13,09 | 99,2 |
| 7 | 6,08 | 84,7 | 17 | 7,47 | 98,3 |
| 8 | 19,08 | 99,6 | 18 | 25,30 | 99,1 |
| 9 | 20,90 | 99,1 | 19 | 14,12 | 99,6 |
| 10 | 5,76 | 99,7 | | | |

Analizando el valor de los Coeficiente de Variación mostrados en la Tabla 6, en la que aparece la clasificación en función del Coeficiente de Variación de Caudales mostrada en la Tabla 2, se comprueba que en las fincas 2, 3, 6, 16 y 19, la falta de uniformidad es debida a los emisores.

Tabla 6
Valores del CVq y clasificación de uniformidad, CVp y CVe para las subunidades ensayadas

| FINCA | CVq | Uniformidad (CVq) | CVp | CVe |
|-------|------|----------------------|------|------|
| 1 | 0,08 | Excelente | 0,13 | 0,07 |
| 2 | 0,32 | Baja | 0,16 | 0,31 |
| 3 | 0,38 | Baja | 0,16 | 0,38 |
| 4 | 0,10 | Muy buena | 0,02 | 0,09 |
| 5 | 0,05 | Excelente | 0,04 | 0,05 |
| 6 | 0,22 | Aceptable | 0,16 | 0,21 |
| 7 | 0,18 | Muy buena | 0,43 | 0,07 |
| 8 | 0,04 | Excelente | 0,02 | 0,04 |
| 9 | 0,05 | Excelente | 0,07 | 0,05 |
| 10 | 0,13 | Muy buena | 0,19 | 0,13 |
| 11 | 0,07 | Excelente | 0,05 | 0,07 |
| 12 | 0,08 | Excelente | 0,03 | 0,08 |
| 13 | 0,1 | Excelente | 0,09 | 0,09 |
| 14 | 0,11 | Muy buena | 0,14 | 0,11 |
| 15 | 0,10 | Excelente | 0,02 | 0,10 |
| 16 | 0,18 | Muy buena | 0,1 | 0,18 |
| 7 | 0,16 | Muy buena | 0,03 | 0,16 |
| 18 | 0,07 | Excelente | 0,07 | 0,07 |
| 19 | 0,39 | Baja | 0,03 | 0,39 |

Si comparamos la clasificación de la uniformidad en función del CVq con la clasificación en función de la UE según el IRYDA, se observa que en la primera clasificación hay una mejor uniformidad que en la segunda. Incluso en algunas fincas (nº 7 y 16), la uniformidad es "Muy buena" según su CVq y "Pobre" según su UE. Esto se debe a que alguno de los goteros en los que se realizó el test estaba obstruido, siendo el

caudal del resto muy homogéneo. Estos caudales bajos tienen una gran influencia en el q₂₅ y por tanto en la UE, mientras que al ser la mayoría de los caudales homogéneos, la desviación típica es pequeña y por tanto el CVq también.

A la vista de estos valores se puede concluir que la falta de uniformidad en las instalaciones es debida a los emisores y no a problemas de tipo hidráulico. Si tenemos en cuenta que la mayoría de emisores son autocompensantes de categoría A, se desprende que el problema de la falta de uniformidad es debido a un deficiente filtrado y limpieza del sistema, es decir a un mal manejo de las instalaciones.

Tabla 7
Valores del factor de corrección de la UE y UE_s

| FINCA | f | UE _s |
|-------|------|-----------------|
| 1 | 0,99 | 88,6 |
| 2 | 0,86 | 58,9 |
| 3 | 0,95 | 50,6 |
| 4 | 0,97 | 84,3 |
| 5 | 0,99 | 92,8 |
| 6 | 0,95 | 65,6 |
| 7 | 0,99 | 78,9 |
| 8 | 0,99 | 94,5 |
| 9 | 0,94 | 88,4 |
| 10 | 0,95 | 79,3 |
| 11 | - | 89,9 |
| 12 | 1 | 90,0 |
| 13 | 0,79 | 68,2 |
| 14 | 0,99 | 93,4 |
| 15 | 0,99 | 86,6 |
| 16 | - | 78,0 |
| 17 | 0,91 | 74,9 |
| 18 | 0,99 | 91,9 |
| 19 | 0,97 | 42,5 |

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la Uniformidad de Emisión del Sector (UE_s) o unidad operacional de riego de acuerdo con la ecuación 7,

de cada una de las fincas evaluadas. Se observa que el valor máximo corresponde a la finca 8 con el 94,5% y el mínimo a la finca 19 con 42,5%. Se observa que las fincas nº 11 y 15 tienen el mismo valor de UE que de UEs ya que no tienen ningún elemento de regulación de presión en toda la instalación y por tanto el sector está formado por una única subunidad.

Conclusiones

- Se observa un predominio del gotero autocompensante frente al gotero no compensante, no estando justificada su utilización ya que se trata fincas con topografías llanas.

- La falta de uniformidad observada se debe en la mayoría de los casos, a un mal manejo de las instalaciones, en cuanto a filtrado y limpieza del sistema, lo que finalmente provoca obstrucciones de los emisores.

- Se observa una ausencia generalizada de regulación de presiones, que tampoco se transforma en falta de uniformidad de emisión debido al empleo del gotero autocompensante. Esta falta de regulación de presión afecta a las presiones medias de funcionamiento de los emisores, lo que se transforma en caudales de emisión diferentes a los caudales nominales de los emisores.

- El diseño de las instalaciones en general es adecuado para asegurar una buena distribución de presiones y caudales en la unidad operacional de riego. Las diferencias de presión existentes entre las subunidades que conforman dicha unidad operacional se deben principalmente al mal manejo. El diseño se podría mejorar en aspectos relacionados con la automatización, regulación y control de la instalación para poder controlar mejor el manejo del riego.

- Se observa una ausencia absoluta de criterios técnicos a la hora de programar los riegos.

- Necesidad de crear un servicio de asesoramiento técnico al regante, sobre todo de cara a la transformación masiva hacia sistemas de riego localizado en toda la comarca.

Bibliografía

- Arviza J. 1989. Evaluación de sistemas de riego localizado. I Curso de Riego Localizado. Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Valencia, España.
- Castell J.R. 1985. Evaluación de instalaciones de riego localizado en cítricos de la Comunidad Valenciana. ITEA, 59, 56-63.
- Ferrer P. 1999. Manejo y evaluación de instalaciones de riego localizado. Curso: La Modernización del Regadío: el riego localizado y las redes colectivas de distribución a presión. Dpto. de Ingeniería Agroforestal, Gráfica y Cartográfica. E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández, 16 al 26 de febrero de 1999. Orihuela, Alicante, España.
- Granero Fernández, J.L. 1998. El regadío tradicional de la Vega Baja del Segura. Eficiencia del sistema de riego y expectativas de modernización. Trabajo fin de carrera. Departamento de Ingeniería Agroforestal, Gráfica y Cartográfica. E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández. Orihuela. Alicante.
- IRYDA (Instituto de Reforma Y Desarrollo Agrario) 1983. Normas para la redacción de proyectos de riego localizado.
- Keller J., Karmeli D. 1974. Trickle irrigation design parameters. Transaction of the ASAE 17(4):678-684.
- Keller J., Bliesner R.O. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- Martínez J.J., Jiménez M. 1996. Calidad agronómica de las aguas de pozo en la Vega Baja del Segura. Alquibla: Revista de investigación del bajo Segura. Nº 2 ,37-50.
- Merriam J.L., Keller J. 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. UTAH State Universty. Logan, Utah, USA.
- Rodrigo J., Hernández J.M., Pérez A., González J.F. 1992. Riego Localizado. Mundi-Prensa, Centro Nacional de Tecnología del Riego (CENTER). Madrid, España.

Tarjuelo J.M. 1993. La aplicación del agua con el riego y su evaluación. En: Martín de Santa Olalla F.J. y de Juan J.A. (Coordinadores), Agronomía del riego. Mundi-Prensa y Universidad Castilla-La Mancha. Madrid, España.

UNE (Una Norma Española) 68-076. 1989. Equipos para Riego. Sistemas de tuberías-emisoras. Características generales y métodos de ensayo.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean mostrar su agradecimiento a los agricultores de la Vega Baja. También quieren expresar su más sincero agradecimiento a José Joaquín García Díez, ayudante técnico del Laboratorio de Hidráulica y Riegos de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela (EPSO, UMH) por el interés mostrado en todo momento y su participación en los trabajos de campo y laboratorio realizados.

Drenajes alternativos en pistas forestales

▀ **José Luis García Rodríguez, Juan Carlos Giménez, Ricardo García Díaz**

U.D. de Hidráulica e Hidrología. E.T.S.I. Montes de Madrid

▀ **José Elorrieta Jove**

U.D. Topografía y Vías de Saca, E.T.S.I. Montes de Madrid

Introducción

La red española de caminos forestales españoles consiste en más de 60.000 km, de los cuales sólo una pequeña parte está en condiciones adecuadas desde el punto de vista constructivo. La falta de medios económicos para una construcción de calidad y su posterior mantenimiento, ha dado lugar a que dicha red se encuentre en muchos casos en estado de abandono. Como por otra parte, la densidad de la red actual no tiene una distribución homogénea, repercute directamente en trabajos fundamentales como la repoblación forestal o la lucha contra incendios.

En muchos de estos caminos el sistema de drenaje juega un papel muy importante en el estado de mantenimiento de las pistas. Desde hace tiempo, en el diseño de drenajes se viene considerando la normativa de carreteras (5.2.-IC), a falta de una normativa técnica adecuada al camino forestal. El objetivo fundamental de este trabajo pretende dar un nuevo enfoque al diseño de drenajes, encaminada a generar una normativa específica para el caso de las pistas forestales.

Por otra parte, existen cantidad de trabajos en los que se relaciona su relación con el entorno, donde se pone de manifiesto los distintos perjuicios que el camino forestal produce, sobre todo por el impacto ambiental que se ocasiona.

La línea experimental de este proyecto ha sido la combinación de aspectos hidrológicos, con los constructivos o de diseño, estudiando el comportamiento de los diferentes materiales atrapados en los drenajes abiertos propuestos como alternativas.

El recorrido del agua en una ladera es alterado por la construcción de un camino, sin que se sepa en qué medida afecta a la vegetación. Es evidente que las aguas de escorrentía e incluso las subterráneas son interceptadas por el camino pudiendo producir un descenso en la producción de materia vegetal en las laderas aguas abajo, quizá poco aparente o significativo en períodos húmedos, pero que pueden ser vitales en determinadas zonas de nuestro país con prolongados períodos de sequía.

El procedimiento clásico de evacuación de aguas en un camino es la construcción de cunetas que permitan la concentración de caudales suficientes para dar-

les posteriormente salida a través de una pequeña obra de fábrica.

La aplicación de la normativa vigente da lugar a la construcción grandes cunetas y alcantarillas. Lo que se pretende con estas propuestas es un menor coste económico en su realización y su mantenimiento; además de suponer un menor impacto ambiental.

Tecnología alternativa de drenaje

El proyecto del sistema de drenaje en una pista forestal tiene que tener en cuenta una combinación de drenajes superficiales y de tubos subterráneos que favorezca la evacuación de las aguas sobrantes. De esta forma, se separarán las funciones de evacuación del drenaje superficial, para evacuar agua sobrante del firme de la pista y, el drenaje subterráneo, para evacuar el agua directa de los cursos de agua de cierta importancia.

Las alcantarillas abiertas en "u" propuestas, son muy eficaces en caminos de gran pendiente; se pueden realizar con diversos materiales entre los que destacan los tablones de madera (Fig. 1), aunque existen otros materiales (Darrach *et al.*, 1982).

Los ensayos de campo propuestos se han dirigido para obtener las respuestas hidráulicas que permitan establecer alguna correlación con las descargas naturales de las microcuencas drenantes a las cunetas; relacionar las pendientes del drenaje y el arrastre de los materiales almacenados en los drenajes y, por último, estimar los caudales específicos, para establecer el diseño conjunto de los drenajes subterráneos y los superficiales, bien como alternativa de uso, bien como refuerzo en cabecera de los subterráneos, para que de esta manera se vean reducidas las descargas en el desagüe de la alcantarilla.

El drenaje alternativo ensayado (Fig. 1) consiste en un canal en madera de pino de diez centímetros de anchura, dimensión habitual en Europa central y admitida en la FAO (1990), de longitud adaptable a la anchura de la pista, y de profundidad, 20 cm.

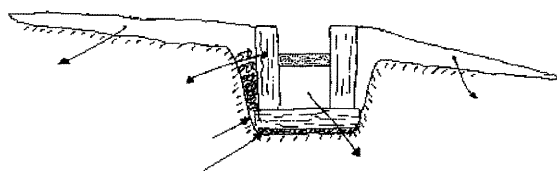


Figura 1. Drenaje con canal de madera.

Como se puede observar, estos drenajes abiertos facilitarán la tarea de conservación y/o mantenimiento, uno de los objetivos perseguidos.

Establecimiento del área de experimentación

La instalación del tramo experimental en el tramo de pista forestal seleccionada, se encuentra situado en los montes de Cercedilla, en el paraje denominado Matalobos. Este entorno es representativo de un bosque de pino silvestre y reúne una serie de parámetros ecológicos conocidos, lo que permitirá hacer el estudio extensible a zonas de características medioambientales semejantes.

En el tramo se han distinguido dos subtramos, delimitados por el Arroyo de Matalobos; donde se construyeron dos nuevas alcantarillas, una en cada tramo, dispuestas con arquetas y rejilla protectora superior para la recolecta de residuos y tubos de 40 cm de diámetro con una pendiente del 3%.

Mediciones hidráulicas de campo

Con este tipo de medidas se pretendía, por una parte, determinar la pendiente transversal necesaria para conseguir el autolavado del drenaje y, por tanto, la reducción del mantenimiento y, por otra parte, observar el comportamiento ante la descarga de los drenajes instalados y medir los caudales de descarga provocados.

Para conocer el funcionamiento de los drenajes propuestos, se comenzó midiendo descargas con un aforador Flume Parshall, adaptado al ancho de la cune-

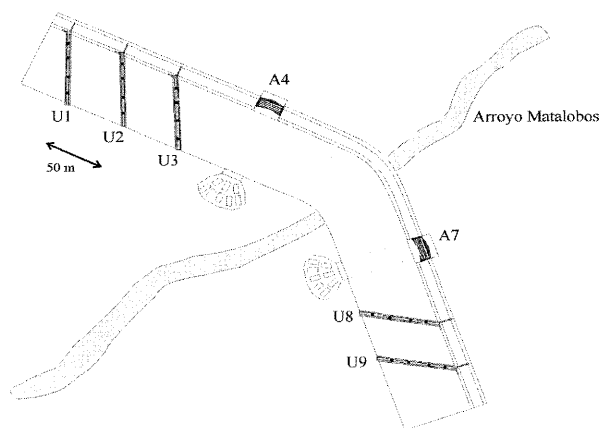


Figura 2.

ta. Una vez instalado, se midieron los calados de entrada y salida a lo largo de la cuneta.

Estudio del arrastre de materiales en el prototipo de drenaje abierto

Con este fin se realizaron una serie ensayos de laboratorio combinando los efectos de la pendiente transversal y un mismo tipo de material, frente a un mismo caudal de descarga, una vez calculada la rugosidad del canal de madera.

Se realizaron ensayos de arrastre de materiales, simulando a los que ocurren con los materiales que quedan depositados dentro de estos drenajes, para establecer las relaciones entre los caudales, los materiales y las pendientes transversales de los drenajes.

Para desarrollar los ensayos se construyó un prototipo, cuyo diseño responde perfectamente a las exigencias técnicas establecidas en los drenajes instalados en la pista forestal, es decir, un canal en madera de anchura, 10 cm, al que se sometió a toda la gama de pendientes de la instalación del terreno (2%-5,5%).

Los experimentos establecieron los umbrales de velocidades y, por tanto, de los caudales para un rango determinado de pendientes ensayadas, con una gama de diámetros pertenecientes a los materiales del entorno de la pista forestal.

Se establecieron cuatro tipos de ensayos atendiendo a dos aspectos distintos: por una parte, el inicio de

erosión y el arrastre total y, por otra parte, la forma en que se realizaría según el obstáculo encontrado dentro del drenaje. En este último aspecto, se tuvieron en cuenta dos posibilidades, por una parte, se colocaron aleatoriamente todos los materiales en la base del canal en una longitud de 20 y, por otra parte, se provocó un mini represamiento interior, simulando un "tapón" natural de piedras, como consecuencia de las aportaciones de la cuneta y/o de las propias ruedas de los vehículos.

En cada uno de estos dos ensayos se emplearon cuatro diámetros: 1 1/2", 1", 3/4" y 1/2", representando a los tamaños medios de los materiales encontrados en las cunetas de la pista. Finalmente, se establecieron una serie de pendientes del prototipo (1% al 5%), que representarán a las más utilizadas en la práctica.

Tras unos primeros resultados de bajos ajustes debido, por una parte a la escasa representatividad de resultados, para cada tipo de pendiente y material y, por otra parte a la subjetividad en el establecimiento del inicio y del arrastre total, se optó por una serie de medidas correctoras:

1) Obtener, a partir de las velocidades y calados, el valor de los caudales Q (l/sg), y establecer nuevas relaciones entre éstos y las pendientes de cálculo.

2) Centrar el análisis en el denominado "tipo de prueba 4", es decir, el de arrastre total, por ser el que mejores resultados aparentes ofrecía en la correlación de las variables y, además suponía una menor subjetividad.

Después de nuevos ensayos, descartando la pendiente del 1% que generó problemas de desbordamiento del canal y el tamaño de 1 1/2", por tratarse de fracciones escasamente representada en los materiales depositados en los drenajes instalados, se obtuvieron gráficas (Fig. 3), ajustando a la nube de puntos obtenida una curva logarítmica, escogida por ser la que mejor tendencia ofrecía. Según estas gráficas, como cabría esperar, el caudal necesario para producir el arrastre total de los materiales va disminuyendo a medida que aumenta la pendiente. Los valores observados permi-

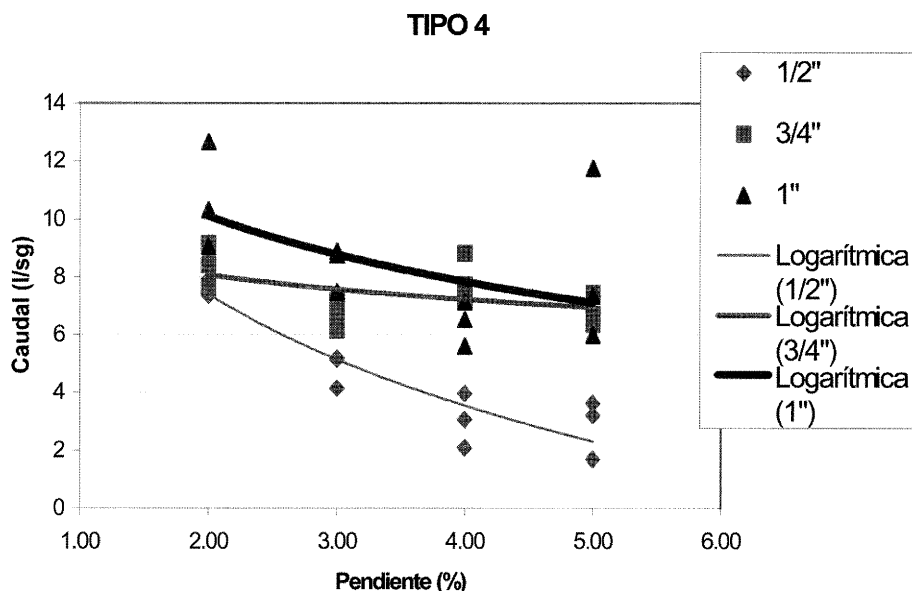


Figura 3.

ten extraer una serie de conclusiones que se indican en el apartado correspondiente.

Conclusiones

– Los drenajes transversales en pistas forestales con pendientes de moderadas a fuertes, se deben sustituir en muchos casos por este tipo de drenajes, por tener un menor coste de construcción y mantenimiento, iguales condiciones de confort para la circulación de vehículos y una notable reducción de impactos medioambientales.

– Los criterios de instalación, como son la separación de tajeas, su inclinación, modificaciones de diseño, etc. presentan notables ventajas si se realizan de acuerdo con los resultados obtenidos.

– Manteniendo la instalación diseñada en la pista forestal de los drenajes con una pendiente transversal entre el 2% y el 5%, se asegura el autolavado del canal del dren y, por tanto, su automantenimiento.

– Los materiales de mayor tamaño presentan cierta dificultad al arrastre, a causa de un "efecto coraza" observado, una vez iniciados los primeros movimientos de los materiales.

– El impacto ambiental que supone la construcción de un camino forestal disminuye, al reproducirse las circunstancias naturales más fielmente.

– Se ha conseguido la relación de intensidades de lluvia con caudales específicos, de tal manera que se puedan aplicar a zonas con las mismas características pluviométricas y fitolitológicas que Cercedilla.

Bibliografía

- CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W.; 1988 Applied Hydrology, Mc.Graw-Hill Co.
- DARRACH, A.G, SAUERWEIN, W.J. y HALLEY, C.E.;1981. Building water pollution control into small private forest and ranchland roads. U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Soil Conservation Service.
- ELORRIETA, J.;1995 Vías de Saca. Construcción de Caminos Forestales". 2ª Ed. 251 pp. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I.Montes. Madrid.
- FAO.;1990 Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles, Guía 13/5 FAO CONSERVACIÓN.
- INSTRUCCIÓN 5.2-IC; 1990. Drenaje Superficial. M.O.P.U.
- TEMEZ, J.R. 1987. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. M.O.P.U. Madrid.

La reutilización de las aguas residuales.

Experiencias en la provincia de Alicante

 **David Ribes**
AQUAGEST LEVANTE, S.A.

Introducción

La calidad del agua es esencial para preservar la salud de los seres vivos, aunque varía según la utilización a la que se destine. No debemos olvidar que el 80% de las enfermedades en el Tercer Mundo y más de la tercera parte de los fallecimientos que en ellos se producen, es debido al consumo de agua no potable o mal saneada. Pocos países industrializados escapan a los problemas derivados de la pérdida de calidad y a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Esto supone que es necesaria una buena planificación para aprovechar los recursos hídricos en sus niveles de calidad más óptimos.

Aunque existen muchos factores que influyen en la calidad de las aguas, lo más preocupante es sin duda el vertido de las aguas urbanas residuales mal tratadas. Considerando que aproximadamente el 80% del agua que usamos se destina a la producción agrícola o ganadera, una proporción de esta agua vuelve a los cauces y a los acuíferos, con restos de abonos y pesticidas, y con una gran carga orgánica. El 20% restante del agua utilizada se destina a la producción industrial y al

suministro urbano en proporciones aproximadas de 50% y 50%. Estas aguas están fuertemente degradadas, cargadas de residuos industriales, de materia orgánica, de detergentes y de otras materias. Una correcta depuración de esta agua es absolutamente indispensable.

Control del tratamiento de las aguas residuales

En general, el tratamiento de las aguas residuales se centra en la eliminación de:

1. Materia orgánica en suspensión y flotantes.
2. Materia orgánica biodegradable.
3. Eliminación de fósforo y nitrógeno.
4. Eliminación de organismos patógenos.

Para cumplir estos objetivos, la CEE estableció unos requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, que fueron recogidos en la Directiva 91/271/CEE y que se presentan en las Tablas 1 y 2 del anexo.

Una estación depuradora trata una cierta cantidad

de agua residual que es sometida a distintos tratamientos antes de su devolución al medio natural. Básicamente el proceso consta de las siguientes fases:

1. Pretratamiento, con métodos exclusivamente físicos (rejas, tamices, rejillas, etc..) que filtran las partículas, eliminando la contaminación visual, es decir, papeles, arenas, grasas, etc., elementos capaces de obstruir las bombas o canalizaciones o interferir el desarrollo de procesos posteriores.

2. Tratamiento primario, mediante métodos físico-químicos (sedimentación, floculación, flotación, etc.), que logran eliminar hasta un 65% de las partículas en suspensión y del orden del 30% de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Se consigue igualmente una disminución de aproximadamente el 35% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación biológica de la materia orgánica contenida en el agua residual.

3. Tratamiento secundario, mediante procesos biológicos, en los que juegan un papel importante las bacterias y demás microorganismos presentes en le agua residual, con los que se logra reducir aún más la contaminación, alcanzándose rendimientos de hasta el 90% en la eliminación de sólidos y de materia orgánica.

4. Tratamiento terciario, última fase, en la que el agua tratada en la estación depuradora es sometida a nuevos tratamientos físicos o biológicos que reducen la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno).

La reutilización de las aguas residuales

El incremento continuo del consumo de agua debido al incremento de población, al crecimiento del nivel de vida y a las actividades del hombre hacen pensar en la necesidad de reutilizar las aguas residuales.

Las aguas residuales contienen elementos que las hacen aprovechables para determinados usos, proporcionan un caudal constante de agua y están disponibles en lugares bien ubicados.

Estos factores las hacen útiles y peligrosas a la vez,

por ello para evitar la paulatina degradación de las zonas próximas a los lugares de su vertido es necesario que sean sometidas a un correcto proceso de depuración. Una vez es completado dicho proceso de depuración, surge la posibilidad de volver a usar dichos caudales.

Cuando hablamos de reutilización dentro de la gestión del ciclo integral del agua (Figura 1), los distintos términos asociados a la reutilización del agua se confunden.

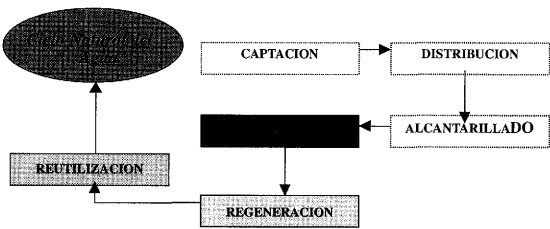


Figura 1. Ciclo integral del agua.

Cuando se efectúa una captación de aguas en el medio natural, se abre un ciclo paralelo del agua que termina en el momento en que éstas son devueltas al medio después de su uso.

Durante el proceso de utilización de esta agua se produce una modificación de sus características, con lo cual existe el riesgo de provocar impactos perjudiciales en el medio al verterlas posteriormente, lo que genera la necesidad de una adecuada depuración de estas aguas residuales después de su uso.

Se entiende por tanto por regeneración cualquier tipo de tratamiento suplementario, distinto de los procesos previos de depuración, destinado a adecuar la calidad del agua residual para poder ser reutilizada.

Será necesario un tratamiento avanzado o tratamiento terciario para permitir obtener una calidad del agua suficiente para el uso al que se destine. Hablaremos por tanto de "aguas depuradas" cuando éstas han

sufrido un proceso de depuración (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario) que las hace aptas para su vertido al medio, y de "aguas regeneradas" cuando éstas han sufrido un proceso de regeneración o tratamiento terciario que las hace aptas para ser reutilizadas.

Entendemos como reutilización cuando el agua, ya usada fuera de su ciclo natural, se emplea para un segundo uso, normalmente distinto del primero o en otra localización. De igual modo podríamos distinguir entre reutilización directa cuando se utiliza el agua residual depurada y/o regenerada que se obtiene a la salida de la EDAR como nuevo recurso hídrico en otro uso distinto del primero, o emplazado en otro lugar, y reutilización indirecta si devolvemos al medio natural el agua residual depurada o no, después de usarla, por ejemplo a un río o un acuífero, donde se produce una dilución y una autodepuración.

Usos posibles del agua regenerada

Dentro de los usos posibles del agua regenerada no se prevé ningún uso potable, es decir para consumo humano. Cualquier uso de este tipo está prohibido por la ley española, salvo en situaciones catastróficas o de emergencia. El uso del agua regenerada dependerá de cada caso particular y de los condicionantes de la zona donde se va a llevar a cabo la reutilización.

A continuación se presentan los distintos usos del agua:

- En Municipios: consumo, suministros alternativos (agua para aseos, aire acondicionado, limpieza,...), lucha contra incendios, limpieza viaria o lavado de vehículos, riego de parques y jardines, riego de medianas, fuentes ornamentales.
- Agricultura: riego de cultivos viñedo, arbolado, prados, etc.
- Ganadería: consumo, refrigeración de instalaciones, limpieza y arrastre en granjas.

- Paisaje y medio natural: caudal ecológico en ríos, recuperación de marismas, riego de espacios verdes, ornamentación, recuperación de zonas baldías, lucha contra incendios.

- Aguas superficiales: caudal ecológico en ríos, lagos, mantenimiento y desarrollo de zonas húmedas o marismas.

- Aguas subterráneas: recarga de acuíferos, almacenaje de agua, transporte, tratamiento avanzado, lucha contra la intrusión marina.

- Tiempo libre y deportes: deportes con riesgo de contacto con el agua regenerada, deportes sin riesgo de contacto con el agua regenerada, riego de campos de golf, fabricación de nieve, estanques artificiales para uso recreativo.

- Acuicultura: crecimiento de peces, crecimiento de algas.

- Minería e industria: refrigeración de instalaciones, aguas de proceso (calderas), arrastre de materiales, lavado de materiales, limpieza.

Técnicas de tratamiento para la obtención de agua residual regenerada

Las técnicas empleadas para la regeneración del agua residual suelen ser complejas y van acompañadas de una infraestructura en la los equipamientos electromecánicos hacen que el coste de inversión, explotación y mantenimiento sean elevados.

Los objetivos de tratamiento que se pretenden con estas técnicas, son entre otros:

- Reducción de la materia orgánica hasta conseguir límites adecuados ($< 10 \text{ mg/l}$).
- Reducción de la salinidad (1000 mS/cm).
- Reducción de la contaminación bacteriana (< 10 coliformes fecales/100 ml y < 100 coliformes totales/100 ml).

Algunas de las técnicas más habituales son las siguientes:

- Tratamientos fisico-químicos: coagulación, floculación, decantación.

- Filtración convencional: monocapa, multicapa, tangencial, arena.

- Filtración directa.

- Filtración por contacto.

- Filtración con membrana: microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa.

- Biorreactores con membrana.

- Electrodialisis reversible adsorción en carbono activo.

- Intercambio iónico (resinas de adsorción).

- Air stripping.

- Recarbonatación o estabilización.

- Desinfección química:

Oxidantes químicos: cloro, ozono, hipoclorito sódico, etc...

Reactivos químicos: bromo, permanganato, agua oxigenada, etc...

- Desinfección física: UV, radiación gamma, calor.

Condicionantes de la reutilización

La reutilización no se puede abordar de manera seria sin una buena planificación que permita garantizar unos resultados satisfactorios. Podríamos definir una serie de condicionantes que deben ser tenidos en cuenta en cualquier lugar donde se quiera proceder a la recuperación y reutilización posterior del agua residual:

- Institucionales: existe una "Propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización directa de efluentes depurados según los distintos usos posibles, así como de aspectos relativos a la metodología, frecuencia de muestreo y criterios de cumplimiento de los análisis establecidos, para incluir en una normativa de carácter estatal" del 15 de noviembre de 1999, que se presenta en la Tabla 3 del Anexo. De no existir ningún reglamento específico que regule la reutilización de las aguas residuales regeneradas, la ausencia de una normativa creará una cierta incertidumbre sobre las res-

pensabilidades dentro de la reutilización y sus impactos sanitarios.

- Sanitarios: El riesgo sanitario asociado a la reutilización de aguas residuales regeneradas está en función del tipo de uso a que se destina esta agua, el cual determina el grado de contacto con las personas o trabajadores, del tipo de agua a usar, la calidad de esta agua y de la fiabilidad de los procesos de tratamiento. Existe un cierto riesgo de transmisión de enfermedades y problemas de toxicidad que hay que evitar.

- Técnicos: La reutilización directa y planificada de las aguas residuales conlleva una serie de condicionantes de tipo técnico que hay que tener presentes a la hora de plantear un proyecto de reutilización, en que se debe elegir el sistema de tratamiento a utilizar, la distribución de las aguas regeneradas y por supuesto el sistema de aplicación final de ellas.

- Económicos: Los costes asociados a la regeneración de las aguas residuales son evidentes, por lo que debe realizarse un exhaustivo estudio económico.

- Medioambientales: Los impactos medioambientales de la reutilización de aguas residuales regeneradas pueden ser positivos, entre los que destacaremos:

- Supresión de los vertidos de agua residual a medio acuático, evitando así eutrofización por ejemplo.

- Mejora de la gestión de los recursos hídricos.

- Lucha contra la intrusión marina en acuíferos introduciendo agua residual regenerada.

- Ahorro de fertilizantes en agricultura si se usa agua residual regenerada.

- Mejora de la calidad de los suelos gracias a la formación de una capa de humus que previene la erosión.

- Socioculturales: En la actualidad existe un desconocimiento total por parte de la sociedad sobre la reutilización de aguas residuales regeneradas. Existen algunas reticencias, no obstante debe decirse que sobre todo en la cuenca del Mediterráneo está muy extendida la práctica de la reutilización, aunque de manera espontánea, y sería importante que ésta se realice en

contacto con las administraciones y autoridades locales.

Criterios de calidad en la reutilización agrícola de las aguas residuales

En lo referente a la calidad del agua residual tratada para diferentes usos tal y como hemos comentado anteriormente, todavía no existe una reglamentación al respecto que defina los tratamientos requeridos, los objetivos y las limitaciones según el uso a que se destinan estas aguas.

Se imponen unos criterios bastante restrictivos a la hora de especificar los tratamientos necesarios para determinados usos, por ejemplo el riego de frutales, lo que de alguna manera podría condicionar enormemente la reutilización de las aguas.

Respecto a la reutilización agrícola, el uso de las aguas residuales viene condicionado, además de por sus aspectos sanitarios, por sus características agronómicas, y en este sentido valen los mismos criterios que se establecen para aguas de cualquier otra procedencia, es decir, su contenido en sales y en elementos potencialmente fitotóxicos, tales como sodio, cloruro, boro, metales pesados y compuestos orgánicos. También debemos considerar el contenido en nutrientes, fundamentalmente nitrógeno y fósforo.

A este respecto, resulta interesante el uso de directrices para interpretar la calidad agronómica del agua, tales como las que se muestran en la Tabla 4 del Anexo, y que corresponden a la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

Con respecto al problema de la salinidad, hay que decir que el uso doméstico del agua produce un incremento en sales del orden de 400 mg/l, lo que unido en muchos casos a las infiltraciones de aguas salobres provenientes del subsuelo o a intrusión marina en las zonas costeras, hace que el contenido salino de las aguas residuales pueda derivar en problemas de salinidad.

Para dar una idea de la tolerancia a la salinidad de los diferentes cultivos de interés en la provincia de Alicante, en la Tabla 5 del Anexo se presentan los valores de salinidad del agua de riego a partir de los cuales empiezan a observarse disminuciones de producción en los cultivos, así como la disminución relativa de producción que se produce por cada unidad adicional de salinidad (expresada en dS/m).

Las aguas residuales tienen un contenido de sales variable que oscila, en general entre 2 y 4 dS/m, así pues, se pueden presentar problemas por salinidad si se emplean estas aguas y no se produce una lixiviación importante de las sales con el riego o las lluvias. En cualquier caso la dotación de agua, expresada por unidad de superficie, se ha de incrementar para paliar la disminución provocada por el aumento de salinidad.

En lo referente al contenido en elementos fitotóxicos son particularmente importantes los problemas derivados del sodio (permeabilidad) y de los cloruros (toxicidad en cultivos), así como del boro, que presenta un rango de valores extremadamente bajo.

Los elementos traza, en particular cadmio, cobre, molibdeno, níquel, cinc, plomo, cromo, etc., pueden presentar problemas de toxicidad tanto para los cultivos como para las personas y animales.

Por último hay que considerar el contenido en nutrientes presente en el agua, en particular los contenidos en nitrógeno y fósforo. Considerando que las aguas residuales pueden tener un contenido en nitrógeno entre 20 y 40 mg/l, se puede estimar la cantidad total de este nutriente que se aporta con el agua a la hora de evaluar las necesidades de nitrógeno del cultivo. En cuanto al fósforo, su aporte por las aguas residuales es bastante inferior al del nitrógeno, pero conviene tenerlo en cuenta y disminuir el aporte de fósforo en el abonado.

Un último problema del uso del agua residual depurada para el riego agrícola lo constituye la presencia de espumas, sobre todo en los lugares donde se producen saltos, cuando las concentraciones de detergentes son superiores a 0.5 mg/l. Estas espumas provocan el recha-

zo por parte de los agricultores, pero no hay evidencias de que los detergentes biodegradables supongan ningún problema para los suelos ni los cultivos.

Experiencias en la provincia de Alicante en la reutilización agrícola de aguas residuales

El aprovechamiento de los efluentes de las estaciones depuradoras en la Provincia de Alicante en el riego agrícola presenta muy variados aspectos, tanto en el volumen de las aguas reutilizadas como en las características de la reutilización.

Existen instalaciones donde dichos efluentes no son aprovechados en absoluto, bien sea porque se generan en zonas donde no se presenta una escasez de agua, o porque las características de dicho efluente no lo hacen apto para el riego. En otros casos la reutilización se lleva a cabo de manera aleatoria y con escasos controles sobre la reutilización. Por último, existen instalaciones donde la reutilización del agua se lleva a cabo mediante instalaciones específicas (impulsiones, embalses, etc.), y donde se efectúa un exhaustivo control sobre la calidad de las aguas reutilizadas.

Pequeñas EDAR's de la Vega Baja

En la Vega Baja del Segura el tema de la reutilización agrícola adquiere una enorme importancia dado que se trata de una zona con un enorme potencial agrícola donde, además, se da una gran escasez de recursos. No obstante la reutilización en esta zona es perfectamente mejorable ya que se vienen utilizando efluentes tanto depurados como sin depurar en el riego agrícola.

El problema emana de que el río Segura en esa zona presenta un elevado grado de contaminación, recibiendo los vertidos directos de importantes aglomeraciones urbanas de la provincia de Murcia, así como de diferentes explotaciones agropecuarias. Además, existe una intrincada red de azarbes y acequias que conectan entre sí el río, los efluentes depurados y

sin depurar, el drenaje de los terrenos agrícolas, los vertidos de explotaciones ganaderas, etc., red a partir de la cual se efectúan las tomas necesarias para el riego de los cultivos.

Las explotaciones gestionadas por el Grupo Agbar en la zona son las de Rojales, Ciudad Quesada, Ciudad Quesada II, Torreón de San Bruno, San Fulgencio-casco, San Fulgencio La Marina, Almoradí-casco, Almoradí El Saladar, Formentera del Segura, Benejúzar, Jacarilla, La Algorfa, Bigastro, Los Montesinos y San Miguel de Salinas. La gran mayoría vierten al río Segura o a los azarbes y acequias de riego.

Por tanto, la calidad del agua que se utiliza en agricultura no es la correspondiente a los efluentes de las depuradoras, sino la que circula por esa intrincada red en la cual existen otros aportes importantes. De esta manera la reutilización de las aguas se lleva a cabo de una forma bastante precaria, y por supuesto sin los adecuados controles sobre la calidad de la misma.

EDAR's de la Zona Orihuela

En este caso valen los mismos argumentos que en el párrafo anterior, con una problemática similar, dado que los vertidos de las EDAR's se efectúan también al río Segura a la red de azarbes. Es el caso de las instalaciones de Rincón de Bonanza-Desamparados, Torremendo, Hurchillo, San Bartolomé, La Aparecida, Benferri y La Zenia.

En el caso de la depuradora de Orihuela-casco, con mucho la más importante del término, se ha planteado un sistema de reutilización consistente en el vertido directo al río Segura del efluente depurado, existiendo la posibilidad de efectuar una filtración de dicho efluente para conseguir un agua de elevada calidad. Este efluente filtrado se bombea a una zona del río, dentro del casco urbano, con el fin de conseguir que el cauce a su paso por la ciudad presente un aspecto adecuado. No obstante, el sistema de filtración deja de funcionar cuando el río transporta agua con destino al riego de comunidades de regantes posteriores al muni-

cipio, agua que presenta un elevado grado de contaminación orgánica y que provoca graves molestias a su paso.

El volumen tratado por la instalación de Orihuela-casco asciende a 1.5 Hm³/año, de los que un porcentaje del orden del 50% se someten al proceso de filtración.

Pequeñas EDAR's del Medio Vinalopó

En la zona del Medio Vinalopó se gestionan las instalaciones de Pinoso, La Algueña, La Romana, Hondón de las Nieves y Hondón de los Frailes. En este caso se produce el vertido directo del efluente a las acequias de riego, pero al contrario de lo que ocurre en la Vega Baja, por dichas acequias circula exclusivamente agua tratada en las EDAR's o agua de mejor calidad, por lo que no se presentan los problemas originados en la zona anterior. En cualquier caso no existe ningún tipo de contrato o compromiso con los agricultores que permita discernir a que tipo de cultivos se destinan las aguas, ni que controles se efectúan.

EDAR Santa Pola

En el caso de Santa Pola, al tratarse de una población costera, con una red de alcantarillado que presenta el problema de la existencia de importantes infiltraciones de agua de mar que hacen que las aguas provenientes de esa zona presenten conductividades que oscilan entre los 8.000 y 10.000 μ SIcm.

De esta forma el agua de la red de alcantarillado de la ciudad se desdobra en dos corrientes, una que es elevada hasta la EDAR y otra que se deriva hacia una utilización directa en cultivos resistentes como el algodón. En cualquier caso las conductividades presentes en el agua que fluye hacia la EDAR son lo bastante elevadas como para que a la larga se presenten problemas en los cultivos (cítricos fundamentalmente).

Otro problema importante que se plantea en el sistema de saneamiento y depuración es que la EDAR no

tiene previsto ningún sistema de vertido del efluente distinto de la reutilización agrícola, por lo que podrían presentarse graves problemas en el caso de que dicha reutilización no pudiese llevarse a cabo.

Así pues, el mayor condicionante en este caso es el problema de la salinidad de las aguas, cuestión ésta que está siendo atajado tanto desde la administración local como desde los organismos de la Comunidad Autónoma encargados de la depuración de las aguas residuales.

La instalación de Santa Pola trata y reutiliza aproximadamente un volumen anual de 1.5 Hm³/año, de los que aproximadamente el 20% corresponden a aguas de elevada salinidad.

EDAR's de La Marina Alta y La Marina Baja

Las estaciones depuradoras gestionadas en esta zona son las de La Vila Joiosa, Teulada y Benitatxell. En todos los casos los efluentes se destinan a la reutilización agrícola y, además, en el caso de La Vila Joiosa se dispone de un vertido directo hasta el mar.

La EDAR de La Vila Joiosa era inicialmente una instalación de lagunaje mixto, con lagunas anaerobias, biodiscos y lagunas de maduración. Dicha instalación se modificó hasta conseguir una doble etapa (aeración, decantación, biodiscos, decantación). La instalación trata un volumen anual de 1,8 Hm³/año, de los cuales se destinan al riego agrícola el 100%.

El aprovechamiento agrícola de estas aguas se lleva a cabo a través de una comunidad de regantes, utilizando entre sus infraestructuras las antiguas lagunas de maduración de la EDAR. Además disponen de una estación de bombeo a la salida de la instalación que eleva las aguas hasta un embalse situado en las proximidades de la EDAR.

EDAR's de Alicante-Comarca de L'Alacantí

En el término municipal de Alicante existen dos estaciones depuradoras, Rincón de León, con una

capacidad de 35.000 m³/día ampliada recientemente a 75.000 m³/día, y Monte Orgegia, con una capacidad de 34.000 m³/día, estando prevista su ampliación a 48.000 m³/día.

La reutilización de las aguas viene practicándose desde el año 1968 en que entró en funcionamiento la primera estación de tratamiento de Rincón de León de 3.000 m³/día de capacidad, y ha ido incrementándose hasta conseguir volúmenes anuales de 3 Hm³ /año en el caso de la EDAR Monte Orgegia y de 8 Hm³/año en el caso de la EDAR Rincón de León.

Además, en este caso las comunidades de regantes (ARALVI, Bacarot y Mutxamel) disponen de importantes infraestructuras de reutilización, tanto en lo que respecta a estaciones de elevación como a la capacidad de almacenamiento, ya que la producción no siempre se ajusta a las necesidades de riego.

Por último indicar que se ha producido un incremento importante en la reutilización de las aguas depuradas debido por una parte al incremento de la demanda de las actuales comunidades de regantes, como a la incorporación de otras comunidades de regantes, como fue por ejemplo la Comunidad Virgen de las Nieves de Aspe.

Reutilización urbana de las aguas residuales en la ciudad de Alicante

La reutilización de las aguas depuradas puede llevarse a cabo para conseguir su aprovechamiento en usos distintos del riego agrícola, usos que, por otra parte, serían cuestionables en zonas de escasez de recursos, tanto por el despilfarro de agua que representan como por la posibilidad de restricciones importantes durante épocas de sequía en las que el recurso agua potable podría verse enormemente mercado.

Las posibilidades de reutilización contemplan el caso aplicaciones no agrícolas, concretamente el riego de campos de golf, que pueden ser perfecta-

mente satisfechos con los efluentes debidamente tratados.

En este sentido se redactó, durante el año 1994, un plan director de reutilización del agua residual para el riego de zonas verdes del municipio de Alicante.

A continuación se describen las instalaciones de tratamiento terciario instaladas en la EDAR de Monte Orgegia que actualmente se encuentra ya en funcionamiento y cuyas aguas tratadas en esta instalación se destinan al riego del campo de golf y jardinería urbana del Plan de Actuación Urbanística de Alicante conocido como PAU-4, y en la EDAR de Rincón de León para el riego del Parque Público "El Palmeral" de Alicante.

Planta de tratamiento terciario de la EDAR de Monte Orgegia

Esta instalación tiene una capacidad de tratamiento de 4.000 m³/día y se encuentra ubicada en la EDAR de Monte Orgegia. El agua procedente del tratamiento secundario de la depuradora es sometida a las operaciones de coagulación, floculación, decantación lamelar, filtración sobre doble lecho y desinfección.

En este caso, se ha hecho una conducción de 200 mm de diámetro y 4 km de longitud para el suministro del agua procedente del terciario hasta los lugares de reutilización, es decir el riego del campo de golf y jardinería urbana del PAU 4.

Planta de tratamiento terciario de la EDAR de Rincón de León

Esta instalación entrará en servicio próximamente, y suministrará agua al parque público de El Palmeral. En este caso el agua se somete a un tratamiento terciario similar al del PAU 4, si bien se incorpora una etapa de microfiltración a continuación de la filtración de sílex-antracita. La capacidad de tratamiento de la ins-

talación es de 2.000 m³/día y se encuentra ubicada en la EDAR de Rincón de León, estando canalizado el efluente tratado a través de una conducción de 200 mm de diámetro y 2,5 km de longitud hasta un depósito receptor ubicado en el parque.

Las características del agua tratada en estas instalaciones son la siguientes:

- Sólidos en suspensión 10 mg/l
- DBO5. 10 mg/l
- DQO 50 mg/l
- Coliformes totales. ausencia
- Huevos de Helminto. ausencia
- Carbono orgánico total. 5 mg/l
- Turbidez 2 NTU

Otra instalación de tratamiento, esta vez de filtración y desinfección, se encuentra ubicada en la EDAR Rincón de León, y se utiliza para el riego de la mediana y arcenes de la Autovía de acceso a Alicante (Autovía de Madrid).

ANEXO: TABLAS

Tabla 1
Requisitos para los vertidos procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales

| PARAMETROS | CONCENTRACION | RENDIMIENTO (%) |
|---|---|---|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20°C) sin nitrificación | 25 mgO ₂ /l | 70-90% 40 de conformidad con el apartado 2 del Art. 4 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DQO) | 125 mgO ₂ /l | 75% |
| Total sólidos en suspensión | 35 mg/l 35 de conformidad con el apartado 2 del Art.4 (más de 10.000 e-h) | 90% 90 de conformidad con el apartado 2 del Art.4 (más de 10.000 e-h) |
| | 60 de conformidad con el apartado 2 del Art.4 (de 2.000 a 10.000 e-h) | 70 de conformidad con el apartado 2 del Art.4 (de 2.000 a 10.000 e-h) |

Tabla 2
Requisitos para los vertidos procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales en zonas sensibles propensas a eutrofización

| PARAMETROS | CONCENTRACION | REDUCCION (%) |
|-----------------|------------------------------------|---------------|
| Fósforo total | 2 mg/l P (de 10.000 a 100.000 e-h) | 80% |
| | 1 mg/l P (más de 100.000 e-h) | |
| Nitrógeno total | 15 mg/l N(de 10.000 a 100.000 e-h) | 70-80% |
| | 10 mg/l N(más de 100.000 e-h) | |

Tabla 3
Propuesta de criterios físico-químicos y biológicos mínimos obligatorios de calidad a conseguir en el agua residual depurada a reutilizar (hoja 1)

| Uso del agua residual regenerada | | Criterios de calidad | | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|---|
| | | Biológica | | Físico-Química | | |
| | | Huevos de Nemátodos intestinales | Escherichia coli | Sólidos en Suspensión | Turbidez | Otros criterios |
| 1 | Usos domiciliarios: Riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, cisternas de calefacción y refrigeración de aire domésticos y lavado de vehículos. | < 1 huevo/10 l | 0 ufc/100 ml | < 10 mg/l | < 2 NTU | |
| 2 | Usos y Servicios urbanos: Riego de zonas verdes de acceso público campos deportivos, campos de golf, parques públicos, etc.), baldeo de calles, sistemas contra incendios, fuentes y láminas ornamentales. | < 1 huevo/l | < 200 ufc/100 ml | < 20 mg/l | < 5 NTU | |
| 3 | Cultivos de invernadero | < 1 huevo/l | < 200 ufc/100 ml | < 20 mg/l | < 5 NTU | Legionella Pneumophila 0 utc/100 ml |
| 4 | Riego de cultivos para consumo en crudo. Frutales regados por aspersión | < 1 huevo/l | < 200 ufc/100 ml | < 20 mg/l | < 5 NTU | |
| 5 | Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne | < 1 huevo/l | < 1000 ufc/100 ml | <35 mg/l | No se fija límite | Taenia,Saginafa y Solium < 1 huevo/l |
| 6 | Riego de cultivos destinados a industrias conserveras y productos que no se consuman crudos. Riego de frutales excepto por aspersión | < 1 huevo/l | < 1000 ufc/100 ml | <35 mg/l | No se fija límite | |
| 7 | Riego de cultivos industriales, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleoginosas | < 1 huevo/l | < 10.000 ufc/100 ml | <35 mg/l | No se fija límite | |

Tabla 3
Propuesta de criterios físico-químicos y biológicos mínimos obligatorios de calidad a conseguir en el agua residual depurada a reutilizar (hoja 2)

| Uso del agua residual regenerada | | Criterios de calidad | | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------------|
| | | Biológica | | Físico-Química | | |
| | | Huevos de Nemátodos intestinales | Escherichia coli | Sólidos en Suspensión | Turbidez | Otros criterios |
| 8 | Riego de bosques, industria maderera, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público | < 1 huevo/l | No se fija límite | < 35 mg/l | No se fija límite | |
| 9 | Refrigeración industrial, excepto industria alimentaria | No se fija límite | < 10.000 ufc/100 ml | < 35 mg/l | No se fija límite | Legionella Pheumophila 0 utc/100 ml |
| 10 | Estanques, masas de agua y caudales circulantes, de uso recreativo en las que está permitido el contacto del público con el agua (excepto baño) | < 1 huevo/l | < 200 ufc/100 ml | < 35 mg/l | No se fija límite | |
| 11 | Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales en las que está impedido permitido el contacto del público con el agua | No se fija límite | No se fija límite | < 35 mg/l | No se fija límite | |
| 12 | Acuicultura (Biomasa vegetal o animal) | < 1 huevo/l | < 1000 ufc/ 100 ml | < 35 mg/l | No se fija límite | |
| 13 | Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno | < 1 huevo/l | < 1000 ufc/ 100 ml | < 35 mg/l | No se fija límite | Nitrógeno Total <15 mg/l |
| 14 | Recarga de acuíferos por inyección directa | < 1 huevo/l | 0 ufc/ 100 ml | < 105 mg/l | < 2NTU | Nitrógeno Total <15 mg/l |

Tabla 4
Directrices para interpretar la calidad del agua para riego

| TIPO DE PROBLEMA | GUIA DE CALIDAD DEL AGUA | | | |
|---|--|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
| | Unidades | No hay problema | Problema creciente | Problema grave |
| SALINIDAD (afecta a la disponibilidad de agua para la planta) Ecw | mmhos/cm | <0,7 | 0,7-3,0 | >3,0 |
| PERMEABILIDAD (afecta a la tasa de infiltración del suelo) Ecw (conductividad eléctrica del agua de riego) adj SAR (relación de absorción de sodio ajustada) Montmorillonita Irita-Vermiculita Kaolinita-Sexquióxidos | mmhos/cm | >0,5 <6 <8 <16 | 0,5-0,2 6-9 8-16 16-24 | <0,2 >9 >9 >24 |
| TOXICIDAD IONICA ESPECIFICA (afecta a los cultivos sensibles) Sodio Riego superficial Riego por aspersión Cloruro (Cl) Riego superficial Riego por aspersión Boro (B) | adj SAR meq/l meq/l meq/l mg/l | <3 <3 <4 <3 <0,7 | 3-9 >3 4-10 >3 0,7-2,0 | >9 >10 >2 |
| EFFECTOS DIVERSOS (afecta a cultivos susceptibles) Nitrógeno (NO ₃ -N o N NO ₄ -N) Bicarbonato (CO ₃ H) con aspersores PH | mg/l meq/l | <5 <1,5 6,5-8,4 gama normal | 5-30 1,5-8,5 6,5-8,4 gama normal | >30 >8,5 6,5-8,4 gama normal |

- Notas**
- Por ufc se entiende: Unidad Formadora de Colonias.
 - Dentro de la categoría de los nemátodos intestinales se considerarán las siguientes familias: Strongyliodes, Trichostrongylus, Toxocara, Enterobius y Capillaria.
 - Se permite la reutilización del agua residual depurada para usos domiciliarios, con excepción de destinarla al consumo humano, que queda taxativamente prohibida en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (R.D. 849/1986, de 11 de abril), excepto en situaciones catastróficas o de emergencia. Dado el riesgo que comporta este uso, las autoridades deberán prestar especial atención a la autorización de este tipo de concesión, además de asegurar un control estricto de las condiciones de reutilización exigidas.
 - Queda prohibida la reutilización del agua residual depurada en los circuitos de refrigeración industrial de la industria alimentaria y similares.
 - Para los usos nº. 10 y 11 además de obligarse el cumplimiento de los parámetros indicados en la tabla anterior, para que el agua residual generada pueda ser susceptible de reutilización deberá presentar ausencia total de olores.
 - Queda taxativamente prohibido el uso de agua residual depurada para el cultivo de moluscos filtradores en agricultura.
 - La operación de recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno, se hará obligatoriamente mediante la utilización de un lecho uniforme de 1,5 metros de espesor mínimo.
 - Los criterios de calidad indicados para cada uno de los usos establecidos en las tablas anteriores, deben ser considerados como mínimos exigibles para su reutilización, pudiendo ser los mismos endurecidos por las autoridades competentes de agua en los casos que las mismas, lo consideran conveniente.
 - Los usos establecidos en las tablas anteriores, no serán los únicos posibles ni permitidos para el agua residual regenerada, si bien, hasta que sea recogido en ella, el nuevo uso no contemplado en la normativa básica deberá ser objeto de una regulación particular por la autoridad concedente del mismo.

Tabla 5
***Tolerancia de los principales cultivos de interés en la Comunidad Valenciana
a la salinidad del agua de riego***

| | Valor umbral de C.E. al que disminuye la producción (dS/m) | Disminución de la producción por dS/m adicional (%) |
|-----------------------------------|---|--|
| Cultivos tolerantes | | |
| Palmera datilera | 2,7 | 5,4 |
| Cebada | 5,3 | 7,5 |
| Cultivos moderadamente tolerantes | | |
| Alcachofa | | |
| Calabacín | 3,1 | 14 |
| Higuera | | |
| Olivo | | |
| Granado | | |
| Cultivos moderadamente sensibles | | |
| Maiz | 1,1 | 18 |
| Cacahuete | 2,1 | 44 |
| Arroz | 2,0 | 18 |
| Girasol | | |
| Alfalfa | 1,3 | 11 |
| Brócoli | 1,9 | 14 |
| Col | 1,2 | 15 |
| Coliflor | | |
| Apio | 1,2 | 9,3 |
| Pepino | 1,7 | 19 |
| Berenjena | 0,7 | 10 |
| Lechuga | 0,9 | 19 |
| Pimiento | 1,0 | 21 |
| Patata | 1,1 | 18 |
| Rábano | 0,8 | 19 |
| Tomate | 1,7 | 15 |
| Sandia | | |
| Vid | 1,0 | 14 |
| Cultivos sensibles | | |
| Judía | 0,7 | 28 |
| Zanahoria de mesa | 0,7 | 21 |
| Cebolla | 0,8 | 24 |
| Fresa | 0,7 | 50 |
| Almendro | 1,0 | 28 |
| Manzano | | |
| Albaricoquero | | |
| Naranja | 1,1 | 24 |
| Limonero | | |
| Mandarino | | |
| Melocotonero | 1,1 | 31 |
| Peral | | |
| Caki | | |
| Ciruelo | 1,0 | 27 |

La demanda de agua en España

■ *Martínez-Crespillo, M.; Legua Murcia, P. y Hernández García, F.*

Se presenta a continuación, una visión general sobre las actuales demandas de agua en España, y su posible evolución en los próximos años. Se comienza, por plantear diversas cuestiones de carácter conceptual, terminológico y se exponen métodos, sobre los procesos de evaluación de las demandas. A continuación, se describe la situación actual y la evolución prevista para los principales usos del agua, de acuerdo con las estimaciones efectuadas, en los Planes Hidrológicos de cuenca aprobados por el Gobierno.

En la preparación de este texto, se ha utilizado información procedente del Libro Blanco del Agua en España, elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente.

Introducción

La utilización del agua, en un sentido amplio, puede ser analizada desde dos perspectivas diferentes. Desde una perspectiva económica o productiva, utilizar el agua consiste en hacerla útil, emplearla para satisfacer unas necesidades, por lo que constituye un

medio de alcanzar unos objetivos de producción o de consumo establecidos por un agente económico. Desde la perspectiva del medio natural, sin embargo, utilizar el agua consiste en transformar sus características mediante acciones que modifican el ciclo natural y suponen impactos sobre el medio.

En cuanto a los usos del agua, la normativa española los define como las distintas clases de utilización de la misma según su destino. En un sentido más amplio se puede considerar que el uso del agua es el hecho de aplicar una o varias de sus funciones para obtener un determinado efecto.

En cuanto a la demanda de agua también tiene una definición normativa. Según el artículo 74.2 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y Planificación Hidrológica se entiende por demanda la necesidad de agua para uno o varios usos, siendo precisos para su definición los siguientes datos:

- a) El volumen anual y la distribución temporal de los suministros necesarios, así como las condiciones de calidad exigibles.
- b) El nivel de garantía de los suministros para los diferentes usos.

c) El consumo, es decir, la porción del suministro que no retorna al sistema hidráulico.

d) El volumen anual y la distribución temporal del retorno y previsión de la calidad previa a cualquier tratamiento.

Este concepto de demanda no coincide con el sentido económico original del término, según el cual la demanda sería la cantidad de un bien o servicio que un agente económico estaría dispuesto a adquirir en un mercado a un determinado precio.

Otro concepto sería la necesidad de agua, y se podría definir como la cantidad de agua necesaria y suficiente para asegurar la aplicación de las funciones requeridas por los diferentes usos, la demanda sería el volumen que se considera necesario, en cantidad y calidad, para alcanzar un determinado objetivo de producción o de consumo.

Por último definiremos la demanda bruta que se relaciona con el medio natural y corresponde al concepto de detracción del medio. La demanda neta estaría relacionada con los puntos de consumo y corresponde al concepto de suministro o aprovisionamiento.

Los principales usos del agua en España

Los usos del agua varían a lo largo del tiempo en función, principalmente, de factores tecnológicos, económicos o culturales.

En la historia más reciente, esta evolución puede apreciarse al comparar los usos previstos en la actual Ley de Aguas de 1985, con los contemplados en las Leyes anteriores. La ley actual prevé, a efectos del otorgamiento de concesiones los siguientes usos (artículo 58):

a) Abastecimiento de población, incluyendo en su dotación la necesaria para industrias de poco consumo de aguas situadas en núcleos de población y conectadas a la red municipal.

b) Regadíos y usos agrarios.

c) Usos industriales para producción de energía eléctrica.

d) Otros usos industriales no incluidos en los apartados anteriores.

e) Acuicultura.

f) Usos recreativos.

g) Navegación y transporte acuático.

h) Otros aprovechamientos.

Frente a estos usos actuales, las leyes de 1866 y 1879 (arts. 207 y 160, respectivamente) preveían, además de los aprovechamientos comunes de pesca, navegación y flotación, los siguientes aprovechamientos especiales:

a) Abastecimientos de poblaciones.

b) Abastecimientos de ferrocarriles.

c) Riegos.

d) Canales de navegación.

e) Molinos y otras fábricas, barcas de paso y puentes flotantes.

f) Estanques para viveros o criaderos de peces.

En el marco normativo actual, el orden de preferencia entre los distintos usos y aprovechamientos es el establecido en cada Plan Hidrológico de cuenca, debiendo respetarse, en todo caso, la supremacía del abastecimiento de población. En términos cuantitativos sin embargo, el uso consuntivo más importante a nivel nacional es el regadío, que representa cerca del 70% de la demanda total (urbana, industrial, regadío y refrigeración).

El abastecimiento de la población

Este uso presenta una gran heterogeneidad en cuanto a la utilización del agua se refiere, pues se incluye utilidades domésticas, municipales, colectivas, industriales, comerciales e incluso agrícolas, todo lo cual contribuye a dificultar su conocimiento.

Se caracteriza por la exigencia de un nivel de garantía muy elevado y una distribución temporal de los suministros necesarios sensiblemente uniformes, salvo en zonas turísticas y segunda residencia. La calidad de suministro frente a otros usos es más exigente. Sus retornos se producen de forma puntual y localiza-

da y, en general, con características constantes, por lo que, debidamente depurados, son aptos para su reutilización posterior en usos con menores exigencias de calidad. La cuantía de estos retornos suele evaluarse, como un 80% del agua suministrada, suponiendo un consumo, por tanto del 20%.

La distribución territorial de esta demanda es, lógicamente, similar a la distribución poblacional. En abastecimientos mayores de 20.000 habitantes un 76% del agua empleada es de origen superficial, un 22% subterránea y el 2% restante procede de recursos no convencionales. En las poblaciones menores las proporciones se invierten, con un 22% de origen superficial, un 70% subterráneo y el resto sin especificar (Sanz, 1995).

Las dotaciones se fijan, en el caso de poblaciones permanentes, en función del tamaño de la población y la actividad industrial y comercial, y en el caso de población estacional, en función del tipo de plaza, como muestra Tabla 1.

Tabla 1
Dotaciones máximas para abastecimientos de poblaciones

| Población permanente (litros/habitantes y día) | | | |
|--|--------------------------------|-------|------|
| Población abastecida por el sistema | Actividad industrial comercial | | |
| | Alta | Media | Baja |
| Menos de 10.000 | | | |
| De 10.000 a 50.000 | 300 | 270 | 240 |
| De 50.000 a 250.000 | 350 | 310 | 280 |
| Más de 250.000 | 410 | 370 | 330 |
| Población estacional (litros/plaza y día) | | | |
| Camping | 120 | | |
| Hotel | 240 | | |
| Apartamento | 150 | | |
| Chalet | 350 | | |

La demanda de los Planes de cuenca consideran representativa de la situación actual un volumen que se puede situar entorno a 4.700 Hm³/año, lo que supone el 13% de la demanda total. Tomando como referencia la población de 1997, esta cifra de demanda se sitúa en una dotación bruta media de unos 327 l/hab día.

Las previsiones de demanda futura elevan esta cifra a unos 5.300 Hm³/año para el primer horizonte (10 años) y unos 6.300 Hm³/año para el segundo (20 años), con la distribución por Planes que se muestra en la figura 1.

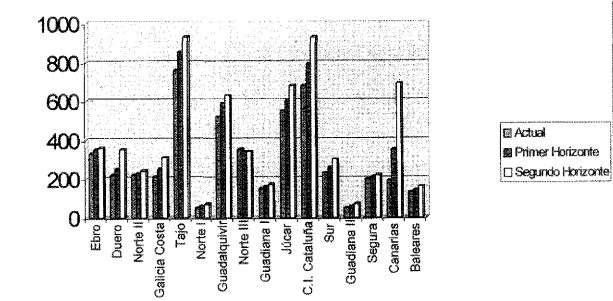


Figura 1. Demanda de abastecimiento de población previsto en los planes de cuenca.

El abastecimiento industrial

Los datos disponibles sobre demanda industrial suelen referirse a la gran industria, que dispone de fuentes de abastecimiento propias. La pequeña y mediana industria, sin embargo, se suele incluir dentro del sector de abastecimiento urbano, lo que se infravalore la demanda industrial real.

La gran dispersión de esta demanda, tanto territorial como sectorial, unido a la propia complejidad del uso industrial, dificultan su correcta estimación. La cual se realiza en función de la superficie ocupada, en el caso de polígonos industriales, o del número de empleados, en el caso de sectores industriales concretos. Un ejemplo de ello son las dotaciones reflejadas en la Orden Ministerial de 1992 que se muestran en la Tabla 2.

Los usos agrarios

Las demandas de aguas asociadas a los usos agrarios se caracterizan por la elevada magnitud de su volumen anual, su variabilidad interanual, su acusada estacionalidad y su alta tasa de consumo. Presenta algunas dificultades para su estimación debido a la diversidad de factores que lo determinan. A ello debe añadirse la variabilidad de algunos de ellos, como los factores meteorológicos, la superficie y ubicación de cada cultivo, la extensión total regada o la delimitación del mosaico de parcelas que efectivamente se riegan.

En cuanto a las dotaciones, y desde un punto de vista normativo, es decir de estimación de requeri-

Tabla 2
Dotaciones de demanda industrial para el primer y segundo horizonte (m³/empleado y día)

| Sector | Dotaciones |
|--|------------|
| Refino de petróleo | 14,8 |
| Química: | |
| Fabricación productos básicos, excluidos los farmacéuticos | 16 |
| Resto | 5,9 |
| Alimentación: | |
| Industrias, alcoholes, vino y derivados de harina | 0,5 |
| Resto | 7,5 |
| Papel: | |
| Fabricación de pasta de papel | 20,3 |
| Artes gráficas y edición | 0,6 |
| Curtidos | 3,3 |
| Material de construcción | 2,7 |
| Transformados de cauchos | 1,8 |
| Textil: | |
| Textil seco | 0,6 |
| Textil ramo del agua | 9,2 |
| Transformados metálicos | 0,6 |
| Resto | 0,6 |
| Nuevos polígonos: 4.000m³/ha | |

mientos o necesidades, la citada Orden Ministerial de 1992 recomienda una serie de valores para los tipos de cultivos más representativos en las diversas cuencas, como se muestra en la Tabla 3.

Según los datos contenidos en los Planes de cuenca, la demanda industrial actual es de unos 1.600 Hm³/año. Para el futuro, los Planes estiman una demanda de unos 1.900 Hm³/año para el primer horizonte y cerca de 2.100 Hm³/año en el segundo.

La dotación bruta se obtiene dividiendo dichas cifras por la eficiencia global, que, a falta de estudios

específicos que justifiquen otras cifras, se recomienda que este comprendida entre 0,5 y 06.

Según los Planes de cuenca, la demanda anual generada por los regadíos en la actualidad se valora en unos 24.100 Hm³/año.

Así, y en relación con la mejora y modernización de regadíos, en el PHN de 1993 se preveía actuar en una superficie de casi un millón de hectáreas, con lo que se estimaba que se conseguiría un ahorro de 975 Hm³/año en el año 2012. en el Plan Nacional de Regadíos Horizonte 2005, aprobado por el Gobierno

Tabla 3
Dotaciones netas recomendadas para los tipos de cultivos más representativos en cada cuenca hidrográfica (m³/ha y año)

| Cuenca | Cultivos extensivos | Cultivos forrajeros | Cultivos hortícolas | Cultivos leñosos | Cuenca |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|--------|
| Norte | 2.100 | 4.100 | 2.000 | 2.800 | 2.600 |
| Duero | 2.500 | 5.100 | 2.700 | 3.900 | 3.400 |
| Tajo | 3.800 | 6.100 | 3.700 | 5.100 | 4.400 |
| Guadiana | 4.200 | 6.600 | 3.100 | 4.800 | 4.400 |
| Guadalquivir | 4.500 | 6.600 | 4.600 | 4.100 | 4.500 |
| Sur | 3.000 | 6.800 | 4.500 | 4.000 | 4.700 |
| Segura | 3.800 | 7.100 | 4.500 | 4.000 | 4.600 |
| Júcar | 5.100 | 6.000 | 4.500 | 4.000 | 4.500 |
| Ebro | 3.400 | 6.200 | 4.500 | 4.600 | 4.500 |

en febrero de 1996, se prevé la actuación en un millón y medio de hectáreas, estimándose que podrían alcanzar un ahorro de unos 4.400 Hm³/año mediante el cambio de método de riego y unas mejores infraestructuras y gestión del agua, programándose las actuaciones necesarias en algo más de un millón de hectáreas.

Las previsiones realizadas en el PHN estimaba un incremento de superficie de 600.000 hectáreas, con lo que la superficie de regadío alcanzaría los 4.000.000 ha y su demanda, teniendo en cuenta el ahorro procedente de las actuaciones de mejora en los regadíos actuales, se elevaría a unos 28.000 Hm³/año en el segundo horizonte.

Los usos energéticos

La utilización del agua con fines energéticos presenta una doble vertiente: la producción hidroeléctrica y la refrigeración de centrales térmicas. Este uso hidroeléctrico se caracteriza por su condición de no consuntivo, aunque lleva consigo un coste de oportunidad de cuantía no despreciable.

La demanda de agua para la producción de energía eléctrica se caracteriza, además, por ser una función derivada de la demanda de un bien (la electricidad).

Cuantitativamente, la producción de energía hidroeléctrica constituye un uso importante. Se estima que el volumen turbinado en un año medio es de 16.000 Hm³, mientras que la capacidad de embalse empleada para este aprovechamiento se sitúa en torno a los 20.000 Hm³, los que supone el 40% de la capacidad de embalse total.

La energía media anual producida es de unos 30.000 GWh, aunque se registran importantes oscilaciones.

Esta producción se caracteriza por una alta concentración territorial, consecuencia de las circunstancias hidrográficas y orográficas españolas. Así las cuencas Norte, Duero y Ebro suman por si solas casi el 80% de la producción total.

En cuanto a la evolución futura de la demanda de agua para su uso hidroeléctrico ésta condicionada por factores de diversa índole.

Además de los aprovechamientos hidroeléctricos, el agua se utiliza con fines energéticos para la refrigeración de centrales eléctricas, cuya demanda, sobre todo si se efectúa en circuito abierto, es muy poco consuntiva, pues devuelve en torno al 95% del agua emplazada a corta distancia del punto de captación.

En la actualidad, y según los Planes de cuenca, la demanda de agua para refrigeración asciende a unos 4.900 Hm³/año. Las mayores demandas se concentran en las cuencas del Ebro (3.300 Hm³/año) y en el Tajo (1.400 Hm³/año), que totalizan el 96% de la demanda total de refrigeración de España.

Otros usos

Además de los usos que se acaban de describir, existen otros cuya importancia cuantitativa es mucho más reducida. Entre ellos cabe destacar la acuicultura, navegación y los usos recreativos.

La demanda de agua para acuicultura es poco significativa en cuanto al volumen que requiere. En toda la cuenca del Segura, por ejemplo, la acuicultura supone un volumen anual que no alcanza los 20 Hm³.

En cuanto a la navegación y transporte fluvial tiene actualmente poca implantación, y la navegación comercial se limita prácticamente al tramo bajo del Guadalquivir, que permite el tránsito de barcos de pequeño y medio tonelaje, contando con las esclusas situadas junto a la dársena del puerto de Sevilla.

Por su parte, los usos recreativos, entendidos como el conjunto de actividades que utilizan el dominio público con el objeto de satisfacer los requerimientos de ocio y esparcimiento de la sociedad, están adquiriendo en los últimos años una particular relevancia, y es previsible que su tendencia continúe manteniéndose al alza.

La consideración de los requerimientos ambientales

Es frecuente en trabajos de planificación hidrológica la consideración de los denominados caudales ecológicos o necesidades ambientales como un uso más, por lo que se ha estimado oportuno hacer unos breves comentarios a este respecto. Esta consideración de los requerimientos ambientales es más que discutible, como manifiesta el Consejo Nacional de Agua en su Informe de 1998, que indica que estos requerimientos no suponen un uso de agua, al menos en sentido estricto, sino que en rigor, constituyen restricciones en la propia utilización del agua del medio natural.

Estas restricciones tienen por objetivo la protección, en determinados territorios y periodos de tiempo, de las funciones naturales del agua mediante la preservación de flujos, de niveles, de volúmenes o de sus características físico-químicas.

Evidentemente, ello puede suponer una limitación de los recursos disponibles para los diversos usos, pero es dudoso que tales restricciones constituyan un uso en sí mismas. Así parece concebirlo la propia Ley de Aguas al diferenciar expresamente, en el capítulo relativo a asignaciones y reservas, las necesarias para usos y demandas actuales y futuros de las correspondientes a la conservación y recuperación del medio natural.

El Consejo Nacional de Agua recomienda, finalmente, una mayor profundización y homogeneización conceptual sobre esta importante cuestión.

Síntesis

Se constata el absoluto predominio del regadío como el principal uso consuntivo, con una demanda del orden del 70% de la demanda total, según muestra la Figura 2.

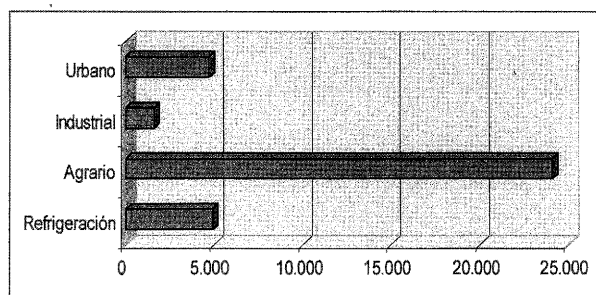


Figura 2.

El uso urbano, prioritario y con las máximas exigencias de garantía, se concentra en las grandes áreas metropolitanas y en el litoral mediterráneo, y aunque se prevé un estancamiento de la población a nivel nacional, se esperan aumentos en cuencas del Guadalquivir, Sur, Canarias, Segura, Guadiana y Baleares.

En la Figura 3 se resumen las previsiones de evolución de la principales demandas según los Planes de Hidrológicos de cuenca.

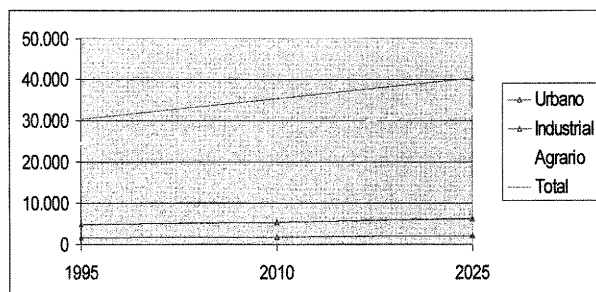


Figura 3.

Sin embargo, la evolución registrada en las últimas décadas parece estar cambiando de tendencia, lo que ya se ha puesto de manifiesto claramente en algunas variables como la población. Por esta razón, en el momento actual resulta particularmente difícil realizar previsiones de evolución de la demanda a medio y largo plazo, y se evidencia la necesidad de contar con instrumentos de planificación flexibles y dinámicos que puedan ser revisados si se observan cambios o desviaciones importantes. En este sentido, los procedimientos que establece la normativa española para el seguimiento y revisión de los Planes Hidrológicos, incluyendo una revisión completa periódica de los Pla-

nes cada ocho años, pueden ser de suma eficacia en los próximos años.

Bibliografía

Comisión Interministerial de Planificación Hidrológica (1982) Planificación Hidrológica Nacional-Avance 80.

Consejo Nacional del Agua (1.998) Informe sobre las propuestas de los Planes Hidrológicos de cuenca.

Dziegielewski, B., E.M. Optiz y D: Maidment (1.996) Water Demand Analysis en L.W. Mays (de.), Water Resources Handbook, McGraw-Hill.

Erhard-Cassegrain, A. y J. Margat (1983) Introduction à l'économie générale de l'eau, Chasson, París.

Margat, J. Y D. Vallée (1998) Water Resources and Uses in the Mediterranean Countries. The Mediterranean in figures. Blue Plan.

MOP (1967) Plan Nacional de Abastecimiento y Saneamiento, Ministerio de Obras Públicas.

MOPT (1977) Anteproyecto de Ley de Plan Hidrológico Nacional, Memoria, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

MOPTMA (1995) Recursos Hídricos y marco territorial, Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales, vol III (105), Dirección General de Planificación Territorial, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Urbanismo.

Sáenz, C. (1992) Sustrato histórico de los usos del agua en España, en Política Hidráulica, Seminario de la Universidad Menéndez Pelayo de Santander, 1992, Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
Sanz, E. (1995) Captaciones y usos del agua para abastecimiento público en la zona rural de España, Revista de Obras Públicas nº 3.345, julio-agosto 1995, 67-86.

Costes socioambientales de grandes proyectos hidráulicos en Oriente Medio

▣ *Majed Barakat Atwi; Pedro Arrojo Agudo*

Departamento de Análisis Económico. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de Zaragoza

Resumen

La construcción de grandes proyectos hidráulicos ha variado drásticamente el orden ecológico de la práctica totalidad de los ríos en el Mundo. Tradicionalmente se han levantado las presas y se ha derivado caudales sin tomar en consideración los impactos ambientales que estas obras suponían, ignorándose por ello las consecuencias ambientales y socioeconómicas que tales impactos han acabado por generar. Los beneficios económicos que se pretendían conseguir han quedado en muchos casos cuestionados seriamente por estos costes e impactos sobre los servicios socioambientales que tradicionalmente los ríos han generado en beneficio de las poblaciones ribereñas. Estos impactos se han demostrado particularmente graves en las zonas deltáicas y plataformas litorales marinas, generando graves afecciones sobre pesquerías y otros recursos de gran relevancia económica. Estas razones junto a la creciente valoración social de valores ambientales, lúdicos y estéticos en los ríos, están llevando a los países avanzados a reconsiderar en profundidad sus políticas hidráulicas pasando del tradicional enfoque producti-

vista a un enfoque ecosistémico en la perspectiva del desarrollo sostenible. Tal es el caso de EE.UU. y de la UE.

En el presente trabajo se analizan los emblemáticos casos del Nilo y del Jordán, analizando los impactos socioambientales generados por las grandes obras hidráulicas desarrolladas. En el caso del Nilo la Gran Presa de Aswán ciertamente ha colaborado al desarrollo económico del moderno Egipto, pero al mismo tiempo ha quebrado importantes funcionalidades ecosistémicas del río, generándose graves consecuencias económicas y ambientales que se estudian y valoran. Particular atención se dedica a los impactos sobre la fertilidad del Delta y las pesquerías mediterráneas, especialmente las de sardina, gravemente afectadas. La misma sostenibilidad física del Delta queda hoy en cuestión ante la falta de sedimentos y la erosión marina. Se trata en definitiva de un caso sumamente significativo en el contexto mediterráneo, que debería servir de referencia a la propuesta de la Directiva Marco de Aguas, en tramitación en el seno de la UE, que exige la integración de estuarios, deltas y plataformas litorales en la gestión a nivel de cuenca de los ríos.

En lo que se refiere al Río Jordán, la derivación de la mayor parte de sus aguas en la cuenca alta ha provocado una importante disminución de los caudales y del nivel del Mar Muerto. Al analizar estos problemas se referencia los casos del Mar Aral y del Mar Salton.

Introducción

Tradicionalmente se ha tendido a considerar los ríos como simples fuentes del recurso agua, desde un enfoque productivista que considera el agua como un simple factor productivo. Hoy en día, sin embargo, parece fuera de toda duda la necesidad de incorporar a la gestión de las aguas los valores, funciones y servicios tanto sociales como ambientales generados en los cauces, riberas, deltas, estuarios, humedales, así como los generados por las aguas subterráneas. Se trata en definitiva de complejos ecosistemas vivos, en continua renovación, que regeneran en cantidad y calidad las aguas que tenemos disponibles en la naturaleza. En definitiva hablar de la gestión de un río exige incluir la gestión de vegas, bosques de ribera, humedales, galachos y estanques en sus llanuras de inundación, deltas y acuíferos conectados con la cuenca (Worster, 1985).

Hoy se tienden incluso a integrar en la gestión de las cuencas hidrográficas las influencias del río sobre las plataformas litorales marinas y sus ecosistemas. De hecho la inminente Directiva Marco de Aguas que está en discusión en la UE incorpora áreas deltáicas, estuarinas y plataformas litorales a la gestión de las cuencas.

Otra cuestión fundamental a considerar es el hecho de que un río no sólo transporta aguas, sino que arrastra y distribuye ingentes cantidades de sedimentos de diverso calibre, materiales solubles inorgánicos (sales) y orgánicos, lo que constituye en última instancia un importante transporte y distribución de nutrientes.

Por otro lado, además de los caudales que fluyen hacia el mar en superficie, que se ven claramente, hay caudales que empapan y discurren lentamente en los acuíferos, especialmente en los acuíferos aluviales asociados a las plataformas de inundación en las zonas

llanas, donde se han acumulado potentes depósitos sedimentarios. Estos caudales, no sólo son parte del ecosistema fluvial en estrecha relación con las aguas superficiales que fluyen por el cauce, sino que son indispensables para el desarrollo de la vegetación a lo largo de las riberas. Junto a estas formaciones sedimentarias características de las zonas bajas y llanas de las cuencas, son particularmente significativas e importantes las desembocaduras y especialmente las formaciones deltáicas.

Los deltas se forman en la desembocadura de muchos ríos, como fruto del equilibrio dinámico entre los sedimentos fluviales aportados y la erosión de las corrientes litorales. Estas zonas suelen ser, tanto en tierra como en el medio hídrico, las de mayor biodiversidad. Tanto la riqueza de las tierras de aluvión, con un constante enriquecimiento de nutrientes y materia orgánica en los periodos de inundación del río, como las aguas dulces en interrelación con las saladas, igualmente cargadas de ricos nutrientes, han favorecido durante miles de años hábitats de extrema riqueza. De hecho se estudia cada vez con más atención la enorme importancia que tienen estos hábitats de cara al alevinaje de especies pesqueras que luego se expanden por las plataformas litorales.

Un río es un complejo conjunto de ecosistemas vivos cuya funcionalidad dinámica depende de múltiples variables interactivas. Desde una visión tradicional simplista se ha tendido a magnificar como variables esencial el caudal, con referencia en muchos casos al caudal medio. Hoy es ineludible considerar como clave, a la hora de hablar de flujos de aguas, el régimen de caudales, con sus variaciones estacionales e interanuales y sus correspondientes funciones ecológicas, decisivas en muchos casos para la biodiversidad de los ríos (Allan, 1998).

En este sentido, las inundaciones, desde un punto de vista ecológico, son sucesos naturales, cuya influencia sobre la vida en el río es tan importante como frágil. Como es sabido, las comunidades de animales y de plantas han pasado millones de años adap-

tándose a las condiciones ambientales. Las inundaciones son simplemente una parte de esas condiciones en el gran ciclo ecológico de los ríos. Diversas especies piscícolas esperan como primera señal, el comienzo de las inundaciones, para empezar la reproducción. Análogamente se ha podido constatar que ocurre con diversas especies de insectos para los que los procesos periódicos de inundación son referencia clave en su ciclo procreativo y de metamorfosis.

Obviamente la vegetación ribereña, y la fauna que alberga, tiene una fuerte dependencia del régimen fluvial, especialmente en los tramos llanos de los ríos. Estas plantas están adaptadas a la regularidad de las inundaciones y a un nivel alto de humedad. El cambio en la periodicidad y envergadura de dichas inundaciones afecta notablemente a la flora y la biodiversidad de este tipo de hábitats. Si se pretende preservar tal biodiversidad será fundamental por tanto gestionar adecuadamente, desde las referencias naturales, los regímenes del río (Alan, 1998).

Otro flujo fundamental a considerar es el de nutrientes. De nuevo en este aspecto las inundaciones tienen un papel fundamental sobre la fertilidad de los terrenos en las inmediaciones de los ríos. Las llamadas plataformas de inundación generan de hecho las vegas y huertas más fértiles. No en vano durante cientos y miles de años, de forma periódica han recibido, no sólo sedimentos finos sino materia orgánica, nutrientes nitrogenados, fósforo, etc...

Pero esta riqueza en nutrientes es por otro lado la base de la fertilidad del río en sí mismo, sosteniendo una amplia fauna de invertebrados que incrementa la producción primaria y da base a una cadena trófica sobre la que se acaba desarrollando una amplia fauna piscícola fluvial y marina.

La producción primaria de micrófitobentos, micrófitos y fitoplancton, junto a la materia orgánica procedente en muchos casos de riberas y procesos erosivos sobre suelos vegetales, son las principales bases que sustentan la vida en ríos. Una parte de esa materia orgánica es consumida por bacterias, hongos y anima-

les de la comunidad fluvial, mientras otra buena parte se acaba depositando en sedimentos o es exportada al mar.

En este proceso de transporte de nutrientes, como base de producción primaria, tanto en los ríos como en los mares, son de nuevo fundamentales los procesos de crecida que acompañan a las inundaciones periódicas.

Es importante, por último, tener presente que esta producción primaria y la compleja pirámide biótica que se fundamenta en ella, depende además de otras múltiples variables físicas, químicas y bióticas, que caracterizan en definitiva los diversos hábitats fluviales: disponibilidad de luz en el agua y condiciones de turbidez, márgenes en la concentración de nutrientes solubles, pendiente del cauce del río, naturaleza de los fondos, tamaño y composición de los sedimentos, presencia de arbolado en las riberas...

En el presente trabajo se analizan los emblemáticos casos del Nilo y del Jordán, analizando los impactos socioambientales generados por las grandes obras hidráulicas desarrolladas.

Impactos de las grandes presas

El marco natural de gestión de las aguas continentales es la cuenca hidrográfica. En este marco la interrelación que se produce entre territorio y aguas es trascendental y compleja, entrelazando ecosistemas en cauces, riberas, llanuras de inundación, estuarios, deltas y plataformas litorales marinas.

La ruptura de la continuidad del cauce que supone una gran presa, modifica drásticamente caudales, regímenes, dinámicas de transporte y sedimentación de materiales,..., alterando profundamente la vida en amplios espacios de las correspondientes cuencas (Pottinger, IRN).

Hoy en día, casi no hay ningún río no haya sido represado en el mundo. Se estima en más de 40.000 las grandes presas, cubriendo una superficie equivalente a la de California.

En el informe World Resources 2000-2001: People

and Ecosystems: The Fraying Web of life, publicado por el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP, UNDP), el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PMANU, UNEP), el Banco Mundial y el Instituto de los Recursos del Mundo (WRI), se señalan múltiples parámetros que marcan un claro retroceso en la capacidad de los ecosistemas para regenerar aguas limpias y potables en el Mundo, advirtiendo que si tal declive continua, las consecuencias pueden llegar a ser devastadoras. Según las estadísticas publicadas en este informe el 60% de los cauces fluviales están gravemente afectados, el 20% de los peces de aguas dulces extinguidos o en grave peligro de extinción.

Tal y como señala Mark Malloch Brown, administrador del UNDP, durante las últimas décadas el modelo de desarrollo vigente ha impulsado, tanto en países ricos como pobres, un tipo de política de gestión de aguas de corte productivista en el que se ha prestado escasa o nula atención a los impactos ambientales y sus consecuencias socioeconómicas de medio y largo plazo. El presidente del Banco Mundial, Mr. James D. Wolfensohn, insiste en que gobiernos y empresas deben repensar el enfoque que debe darse al crecimiento económico, ya que de lo contrario las poblaciones más pobres, que son quienes dependen más directamente de los ecosistemas (en este caso fluviales) para su sustento, van a sufrir graves quiebras en sus modos y medios de vida.

El hombre represa los ríos para almacenar aguas y regular los caudales en función de sus necesidades o conveniencias: necesidades urbanas, industriales, de riego y otros usos, control de inundaciones, generación de energía hidroeléctrica, etc... Durante el siglo XX, y muy especialmente en las cinco últimas décadas, la capacidad tecnológica ha permitido tales actuaciones sobre el orden hidrológico natural que los impactos ambientales resultan hoy alarmantes.

Cada río tiene su propia comunidad biológica, que depende tanto de las interrelaciones entre sus miembros como de las condiciones físico-químicas y geoló-

gicas que la dinámica fluvial establece sobre los respectivos hábitats.

La construcción de presas ha producido profundos cambios en esos ecosistemas. En cierta forma se podría decir que un embalse es la antítesis de un río. Lo esencial de un río, es el dinamismo de sus caudales, mientras que lo esencial de un embalse es su inmovilidad (Worster, 1985). Un río en estado natural es dinámico, genera continuos cambios en su cauce, erosiona unas zonas, deposita los sedimentos en otras, abre nuevos cursos, moviliza nutrientes... Las presas buscan controlar el río, su régimen estacional, sus crecidas e inundaciones, sus estiajes... Pero al hacerlo, retiene los sedimentos, rompe y desnaturaliza los flujos de nutrientes y altera gravemente los hábitats en cauces, riberas.

La retención masiva de sedimentos en las grandes presas, especialmente si éstas están en zonas bajas o medias de la cuenca, suponen una grave quiebra de los equilibrios geodinámicos derivados de los fenómenos naturales de erosión, transporte y sedimentación. Los cauces pueden llegar a erosionarse varios metros en una década, aguas abajo de una presa desde su construcción. Esta profundización de cauces repercute en una disminución del nivel freático, amenazando la vegetación y los pozos locales en las llanuras de inundación, bajo las que se generan los acuíferos aluviales. A menudo, la alteración de los fondos fluviales –gravas de diverso calibre y arenas– afecta gravemente los hábitats en los que alevinan peces e invertebrados (insectos, moluscos y crustáceos), rompiendo la pirámide biótica del río. El propio cambio de régimen de caudales del río, afecta también las dinámicas estacionales a las que están acopladas las especies que viven en el cauce y sus riberas. Es decir las irregularidades, que el hombre suele considerar negativas, cumplen funciones ecosistémicas en ocasiones trascendentes a las que se ha prestado escasa atención hasta el presente.

Uno de los objetivos más relevantes de muchas presas es evitar procesos de crecida que produzcan inundaciones en las zonas medias y bajas de la cuenca. Ello

sin duda favorece un uso controlado, e intensivo en ocasiones, de esos espacios (urbanización, usos agrícolas etc...). Sin embargo se tienden a olvidar las funciones positivas que durante milenios han cumplido esos procesos periódicos de inundación. La propia fertilidad de esas llanuras de inundación (vegas), es uno de los frutos de esas inundaciones periódicas, en las cuales se han ido depositando los materiales y nutrientes que hoy constituyen las claves de esa fertilidad.

La flora y la fauna están adaptados a ese ciclo de inundaciones, acoplando a él sus funciones reproductoras, de incubación, migración, etc... Muchos humedales, hábitats de extraordinaria riqueza en biodiversidad cuyas funciones de regeneración en la calidad de las aguas son trascendentales, dependen en gran medida de estos procesos periódicos de inundación, tanto en los flujos de aguas como de nutrientes. Muchos hábitats de las llanuras de inundación se conectan con el canal del río en esos periodos de nivel máximo que generan las inundaciones, siendo esta conexión fundamental para el ciclo de vida de algunos organismos.

En las últimas décadas se vienen investigando y entendiendo progresivamente las relaciones entre el río (caudales) y sus riberas. La importancia de los bosques de galería es cada vez mejor conocido: ofrecer condiciones de sombra, filtro verde, hábitats entre sus raíces bajo las aguas vitales para muchas especies, frenar e integrar procesos de avenida, conservar la calidad de las aguas; pero al tiempo el río alimenta y vitaliza de forma dinámica, con sus irregularidades periódicas, esos ecosistemas ribereños (un ejemplo de ese dinamismo son los galachos –antiguos meandros abandonados– donde se generan entornos con gran biodiversidad).

Las profundas alteraciones provocadas o inducidas por las grandes obras hidráulicas han generado graves procesos de empobrecimiento biológico, haciendo de las aguas continentales el medio sin duda más brutalmente impactado del planeta en las últimas décadas. De las 8.000 especies de aguas dulces catalogadas por los

biólogos cerca de 2.000 se consideran extinguidas o en proceso de extinción, siendo sin duda otras muchas las que se han extinguido o están desapareciendo sin que lleguemos a conocerlas y catalogarlas siquiera.

La presa de Aswán: un caso paradigmático en el área mediterránea

El Nilo es el río más largo del mundo. Fluye desde distintas fuentes (Etiopía, Kenya, Tanzania y Burundi). Mide 6.650 Km desde su origen en Burundi, al sur del ecuador, hasta su desembocadura en el Mediterráneo. Se alimenta de tres principales afluentes: El Nilo Azul, El Nilo Blanco y el Atbara. El Nilo Blanco fluye desde su origen en Burundi, pasando por el lago Victoria en el este del África Central, para luego dirigirse hacia el sur del Sudán. El Nilo Azul fluye desde las montañas etíopes, cerca del lago Tana, contribuyendo en más de 53% a los caudales del Nilo. Ambos (El Nilo Blanco y el Azul) se unen cerca del Khartoum fluyendo hacia el norte donde el río Atbara, que viene también de las montañas etíopes, se une a ellos. El río sigue su camino hacia el norte, pasando por Egipto, para desembocar finalmente en el Mar Mediterráneo, donde forma un enorme delta en el se ramifica en dos canales principales, la Rosetta al oeste y la Damietta al este. Durante miles de años el Nilo ha alimentado y formado con sus sedimentos este delta, extendiéndose mar adentro.

De entre las grandes civilizaciones conocidas en la historia de la humanidad, la egipcia supone uno de los casos más emblemáticos de relación y dependencia respecto a un gran río como es el Nilo. Esta civilización, desde su aparición 3000 años antes de Cristo, asoció su vida y su alma a las aguas del río. El Nilo ha sido así, durante miles de años, el motor principal de desarrollo y clave de referencia sociocultural para los pueblos ribereños, y de forma muy especial para lo que hoy es Egipto y Sudán.

Pero a diferencia de lo que se suele pensar, tal importancia no reside sólo en sus aguas, necesarias

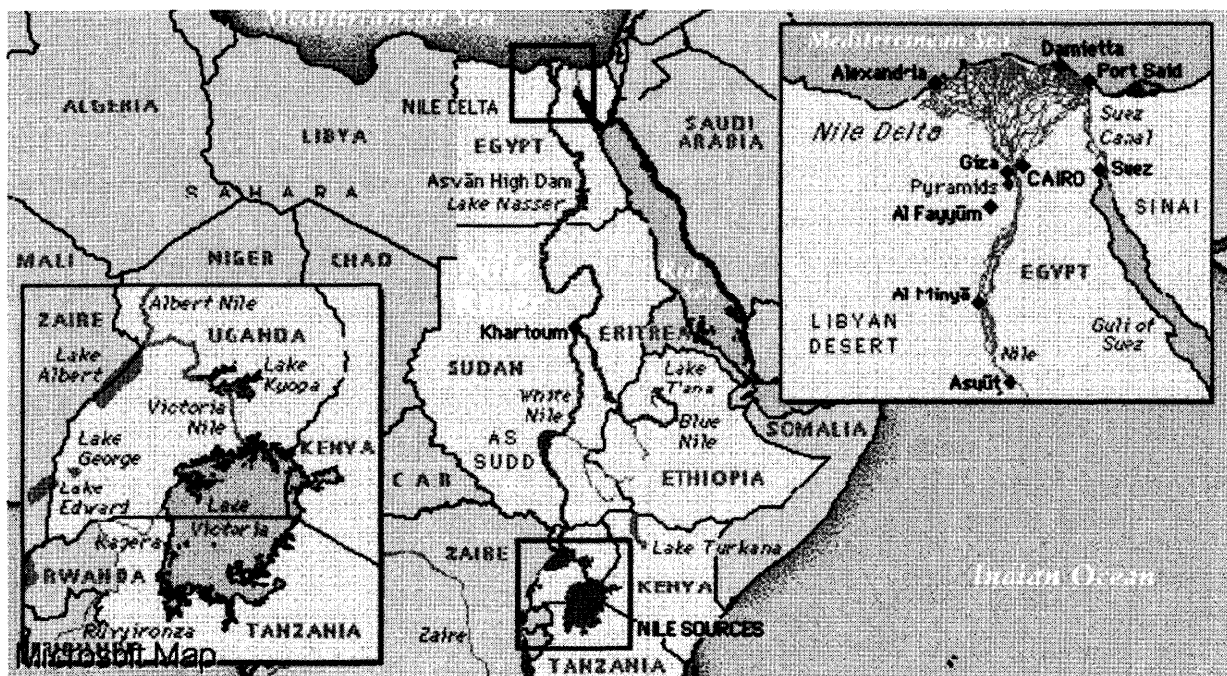


Figura 1. La Cuenca Hidrográfica del Nilo.

para el riego, sino también en la función de renovación y enriquecimiento anual de suelos que han supuesto tradicionalmente los sedimentos y nutrientes aportados a estas tierras por las inundaciones.

En su tramo egipcio, el Nilo fue denominado en la antigüedad "Ar" o "Aur", que significaba "Negro", por los ricos sedimentos negros, que periódicamente se depositaban sobre la llanura en tiempos de inundación, procedentes fundamentalmente del río Atbarah y del Nilo Azul. Los griegos y los egipcios también dieron a esas ricas tierras de cultivo el nombre de "Kem" o "Kemi", cuyo significado era de nuevo "negro" (Think Quest Team, 1998).

Desgraciadamente, hoy en día, la famosa Gran Presa de Aswán retiene casi todos estos sedimentos, rompiéndose los lazos ecológicos entre el río y las tierras de su llanura de inundación.

Las crecidas anuales son originadas por las lluvias tropicales del África Central y la fusión de las nieves en las montañas de Etiopía. En mayo, justo antes del periodo tradicional de inundaciones, el Nilo alcanzaba el nivel más bajo. Desde junio a agosto, el río empezaba a subir rápidamente cargándose de sedi-

mentos que oscurecían sus caudales. Llegaba a su nivel máximo a mitad de septiembre, y en octubre el nivel de las aguas empezaba a bajar. Los antiguos egipcios esperaban hasta que las tierras habían absorbido las aguas, para entonces sembrar sus cultivos en el lodo.

El control de las inundaciones y el riego han sido las principales preocupaciones tradicionales desde tiempos de la antigüedad en Egipto. Ya en la época del rey Menes (3200 a. C.) se controlaban y gestionaban los procesos de inundación mediante sistemas de lagunaje apoyados en procesos de bombeo (sistema Kilon), comunes en Egipto hasta el periodo de Mohamad Ali (1805-1849).

En tiempos de Mohammad Ali, fundador del Egipto moderno, se construyeron presas que sustituyeron el sistema de balsas preexistente por un sistema de regulación de periodo anual que permitió mejorar el riego, aumentando la disponibilidad de caudales durante más amplios periodos de tiempo.

Con las nuevas tecnologías hidráulicas en 1902 se construye la primera presa moderna en Egipto, llamada la Antigua o Pequeña Presa de Aswán. Posterior-

mente sería recrecida en dos ocasiones, en 1912 y 1933.

Más adelante, el proceso de desarrollo, tanto en el ámbito urbano como en las actividades industriales y agrícolas, multiplicó las demandas de caudales regulados y la necesidad de controlar los procesos de inundación con el fin de ganar opciones en la gestión del territorio. En este sentido, al igual que en otras muchas partes del mundo, se planteó la necesidad de hacer nuevas regulaciones en un orden de magnitud muy superior al realizado hasta entonces. El proyecto de la Gran Presa de Aswán fue presentado en 1948. Su construcción se empezó en 1960 y se terminó en 1970. Costó más de mil millones de dólares americanos de entonces, que fueron en buena medida financiados por la Unión Soviética, en una coyuntura geoestratégica en la que los factores políticos llegaron a ser más significativos que los propiamente técnicos y económicos.

La Gran Presa de Aswán

Está situada en el sudeste de Egipto a 800 Km de la capital, El Cairo. Tiene una altura de 111 metros y un grueso de casi un kilómetro y una longitud de 2.325 metros. El embalse se conoce como "Lago Nasser", en honor al Presidente Gamal Abdel Nasser. Es el lago más grande del mundo construido por el hombre. Ocupa 500 Km a lo largo del cauce del Nilo, con una superficie de 6000 Km². Dos tercios de ellos se sitúan en Egipto, y un tercio en Sudán, en donde recibe el nombre de "Lago de Nubia". La capacidad total del embalse es de 162 Km³ (ILEC, 1995).

Los beneficios resultantes de la construcción de grandes presas son de sobra conocidos, pues durante décadas se han explicado, e incluso magnificado en ocasiones por encima de la realidad. Controlan las inundaciones, abastecen demandas urbanas, agrícolas y industriales, producen energía hidroeléctrica etc... Pero también generan y han generado efectos negativos que en la actualidad nos hacen reflexionar y

poner en duda el balance y oportunidad de muchas de estas grandes obras hidráulicas. Hace 50 años los impactos ambientales y sociales de la construcción de grandes presas, especialmente en la desembocadura de los ríos, no habían sido siquiera considerados. Incluso en 1991, una encuesta interna del Banco Mundial, mostraba que el 58% de los proyectos hidroeléctricos habían sido planificados sin tener en cuenta, siquiera formalmente, los efectos ambientales río abajo (Pottinger, IRN).

Como es natural la Gran Presa de Aswán, construida hace 30 años, adoleció de esta falta de estudios y valoraciones ambientales. Sus objetivos y beneficios en todo momento han quedado muy claros. Ha jugado un papel muy importante en el desarrollo económico de Egipto. Ha ayudado a expandir la superficie agrícola, ha permitido la generación de energía hidroeléctrica y ha laminado las tradicionales crecidas reduciendo drásticamente los procesos de inundación en las tierras bajas del Nilo, reduciendo los impactos negativos de tales inundaciones.

Las consecuencias ambientales de la Gran Presa de Aswán

Sin embargo, por otro lado, en el reverso de la medalla, los impactos ambientales han sido, y son, serios. La masiva acumulación de depósitos, especialmente en la cola del embalse, está colmatando aceleradamente el vaso del llamado Lago Nubia. La erosión ha aumentado en tramos bajos, mientras se ha producido un grave y acelerado proceso de regresión en el Delta del Nilo. Es notable la pérdida en fertilidad de los suelos y los fenómenos de salinización, con las correspondientes pérdidas de productividad en los campos. Se han generado graves impactos sobre la pesca fluvial de especies comerciales, que ha disminuido aproximadamente en dos tercios, mientras en el mar los impactos sobre las pesquerías han sido demoledores: la captura de sardinas disminuyó en más del 80% (World Resources 1998-1999).

Los efectos sobre suelos, delta y litoral

Antes de la construcción de la Gran Presa de Aswán el Nilo transportaba aproximadamente 124 millones de toneladas de sedimentos cada año, depositando parte de ellos, cerca de 10 millones toneladas, en las llanuras de inundación y en el delta. Desde la construcción de la Presa de Aswán, la mayoría de estos sedimentos, el 89%, quedan retenidos en el Lago Nasser (Pottinger, IRN). Como consecuencia de ello se ha producido una reducción en la productividad y la profundidad del suelo fértil en las llanuras de inundación. Para compensar este impacto, se abonan los suelos con fertilizantes artificiales, lo que supone un notable gasto en trabajo y energías fósiles para producir los correspondientes fertilizantes nitrogenados (Soffer, 1999). En 1990, la tasa de consumo en Egipto de fertilizantes inorgánicas fue de 340 Kg/hectárea/año; más del triple del consumo en EE.UU. (100 Kg/hectárea/año) y cercano al Japón con sus 390 Kg/hectárea/año (Wentworth, 1998).

Estos fertilizantes han contribuido, como efecto secundario, en los procesos de salinización de suelos, contaminando por otro lado a través de los retornos las aguas del Nilo. La erosión de las tierras ribereñas ha causado la pérdida de miles de hectáreas de excelentes campos de cultivo.

La disminución de sedimentos ha dañado también la industria de ladrillos. Antes de la construcción de la presa, la limpieza de los canales de riego, tras las inundaciones, proveía de materia prima a esta industria. Hoy algunos agricultores venden sus tierras para esta industria (Soffer, 1999).

Otros graves impactos se vienen produciendo como consecuencia de la quiebra del equilibrio entre el progreso del delta, al recibir nuevos sedimentos, y la erosión costera generada por el oleaje y las corrientes litorales. Tal fenómeno afecta no sólo al delta sino a la plataforma costera.

Hoy en día el delta está en peligro, no sólo por falta de sedimentos frente a la erosión marina, sino como

consecuencia de un fenómeno de subsidencia (hundimiento del delta), particularmente claro en el noreste. En esta situación, la amenaza de entrada del agua del mar en los lagos del delta es grave, al tiempo que la cuña salina subterránea avanza, salinizando los acuíferos de la zona, con sus correspondientes impactos sobre usos agrarios y urbanos.

No obstante las razones de la crisis del delta no residen sólo en la trampa de sedimentos que supone Aswán. Según los estudios de Stanley (Penvenne, 1996), la propia gestión de las aguas de riego en el delta es clave en el proceso. Daniel Jean Stanley, de la Institución de Smithsonian, especialista en Geología Marina, señala como una causa clave de agravamiento de la crisis de sedimentos costeros, la diversión de aguas para la agricultura con la consiguiente retención de sedimentos en los sistemas de riego. Stanly argumenta que, dada la lentitud de los caudales, los sedimentos se depositan en los canales de riego y de drenaje del delta, impidiendo su salida al Mediterráneo y colaborando de forma notable en la crisis de sedimentos costeros.

Stanley señala la conveniencia de recuperar cierto dinamismo fluvial que recomponga en parte el fenómeno de las inundaciones, aunque sea desde una regulación artificial con el fin de reemplazar las funcionalidades de las que sucedían antes de la construcción de la Gran Presa de Aswán de forma natural. Tales procesos de crecida mejorarían la gestión de las aguas, limpiando los canales del delta y dinamizando flujos sólidos hacia el Mediterráneo. Este enfoque implica en definitiva recuperar caudales para funciones ambientales, lo que implicaría reducir ciertos usos actuales de las aguas del Nilo. Al respecto las opciones de incremento en la eficiencia de uso, e incluso la desalación de aguas marinas en las zonas de costa, si fuera preciso, ofrecerían posibilidades alternativas.

Siegel, de la Universidad de George Washington, insiste en la necesidad de que las organizaciones internacionales sensibles a los problemas ambientales presten atención en la región no sólo a los problemas de

erosión y de contaminación del delta del Nilo, sino también a los impactos sobre los ecosistemas de la costa Mediterránea (Penvenne, 1996).

Problemas de degradación en la calidad de aguas y suelos

La contaminación derivada de usos urbanos, industriales y agrícolas vienen contaminando los regadíos y los lagos del delta, lo que afecta tanto a la productividad de agraria como a la de las pesquerías. Los fertilizantes procedentes de la agricultura vienen afectando la calidad de las aguas en los lagos del delta por eutrofización, estimulando el crecimiento de algas que afecta su riqueza pesquera.

La falta de renovación de suelos y la elevada evaporación en un clima desértico, favorecen procesos de salinización de los campos, reduciendo su productividad. Por otro lado estos fenómenos se ven agravados por procesos de creciente intrusión marina.

Debido al riego intensivo y a los sistemas de drenaje, la salinidad del suelo en Egipto ha aumentado. Otro fenómeno que colabora en este proceso es el incremento de la salinidad en el Lago Nasser como consecuencia de la enorme evaporación. Según recientes estimaciones, el 35% de las tierras y el 90% de las aguas egipcias tienen problemas preocupantes de salinidad (Soffer, 1999).

La deficiente calidad ambiental de las aguas del Nilo tiene consecuencias que van más allá de sus utilidades y funciones en el propio río y sus entornos. Los sedimentos suministran nutrientes para las pesquerías no sólo del propio Nilo y de los lagos del delta, sino también del Mar Mediterráneo. La quiebra de calidad de los caudales fluviales ha producido enormes daños sobre esas pesquerías.

Efectos sobre las pesquerías

Al igual que en la generalidad de sistemas deltáicos y estuarinos, en el delta del Nilo, allí donde las aguas

dulces se encuentran con las del mar, se genera un ecosistema de la máxima riqueza y biodiversidad. Un 80% de los recursos pesqueros en el mundo provienen de estos hábitats, que dependen del volumen, calidad y régimen de las aportaciones fluviales, con los correspondientes nutrientes. La alteración de esos caudales, por construcción de presas y derivación masiva de aguas, es la principal causa del fuerte declive sufrido por pesquerías como las del Golfo de Méjico, los mares Negro y Caspio, la Bahía de San Francisco en California y, en particular el Mediterráneo Oriental (Pottinger, IRN).

En un contraste con mares ricos en nutrientes como el Mar del Norte y el Mar de Omán (Mar Árabe), las aguas del Mar Mediterráneo son mucho más pobres, lo que induce una menor productividad primaria (Es la síntesis de las sustancias orgánicas de las no inorgánicas a través del fenómeno de fotosíntesis por organismos unicelular llamados fitoplancton (El-Sayed y Dijken, 1995).

Esta baja productividad se debe a muy diversos factores. La circulación general del mar tiene un carácter lagunar. Una corriente superficial en dirección Oeste-Este trae aguas relativamente mermadas en nutrientes del Atlántico del Norte a través del Estrecho del Gibraltar, induciendo un flujo inverso de salida hacia el Atlántico de aguas profundas más ricas en nutrientes.

Por otro lado, el clima árido del entorno continental produce un nivel relativamente bajo en nutrientes en los caudales de los ríos que desembocan en el Mediterráneo.

La disminución de sustancias orgánicas en el Mediterráneo oriental, viene generando una situación extremadamente oligotrófica con disminución de turbidez y una creciente transparencia de sus aguas.

Desde tiempo inmemorial, el Ecosistema Mediterráneo del Este ha mantenido parámetros ecosistémicos relativamente estable. Sin embargo la puesta en marcha de la Gran Presa de Aswán en 1970, ha causado enormes cambios en los caudales del Nilo, tanto en

cantidad como en calidad y régimen, generándose quiebras cuyas consecuencias ni siquiera se habían sospechado.

Antes de la construcción de la Gran Presa de Aswán, el 50% de las caudales del Nilo llegaban al mar. En media, durante los periodos de inundación, la descarga total de sales se estima era, aproximadamente, de unas 5.000 toneladas de fosfatos y 280.000 toneladas de silicatos. Las aguas de esas inundaciones, ricas en nutrientes, vertidas al mar, se extendían luego con una anchura de unos 15 km a lo largo de la costa egipcia, hasta llegar a las costas israelitas e incluso a veces al sur de Turquía (El-Sayed y DijKen, 1995).

El efecto de fertilidad de la entrada de esas aguas del Nilo durante las inundaciones en el mar se traducía en una alta densidad de fitoplancton frente al Delta de Nilo, clave para el sustento de las sardinas y otros peces o especies de valor comercial como los camarones.

La disminución de la fertilidad de estas aguas en el Sudeste del Mediterráneo causada por la construcción de la Gran Presa de Aswán ha tenido un efecto catastrófico sobre las pesquerías marinas. Las capturas disminuyeron de unas 35.000 toneladas en 1962 y 1963 a unas 8.000, es decir una cuarta parte, en 1969. Resulta especialmente significativa la caída en capturas de sardina, principalmente *Sardinella Aurita*, sumamente dependiente del fitoplancton generado durante el periodo de inundaciones. En concreto la pesca de sardinas disminuyó de 18.000 toneladas en 1962 a tan cantidades que oscilan entre 460 y 600 toneladas en 1968 y 1969 respectivamente. La pesca de camarones tuvo también un descenso muy fuerte, de 8.300 toneladas en 1963 a 1.128 toneladas en 1969 (El-Sayed y DijKen, 1995).

A pesar de los estudios referenciados, los efectos de los caudales de descarga del Nilo sobre la biología oceanográfica y las pesquerías marinas a lo largo de las costas de Egipto y de Israel, aún no están claros o bien valorados. Los drásticos cambios en las condiciones físicas, químicas y biológicas en la Cuenca Mediterrá-

nea Oriental ciertamente han producido quiebras impresionantes, pero aún queda mucho por investigar. Por el momento sabemos muy poco de las fluctuaciones estacionales de la productividad primaria en este mar. Además no sabemos si la reducción de las caudales del río han causado cambios en la composición de las especies del reino del plankton que conducirían a impactos en las cadenas tróficas todavía inexplorados. Lo que ciertamente se sabe es que las sardinas que migraban hacia el Delta del Nilo para alimentarse de fitoplancton, han alterado esos movimientos después de la construcción de la Gran Presa de Aswán (El-Sayed y DijKen, 1995).

Hace 50 años, los EE.UU. llevaron a cabo grandes programas de construcción de presas y desarrollo de grandes regadíos sin previsión alguna sobre posibles impactos ambientales negativos sobre ríos, deltas, estuarios y plataformas litorales. Hoy la propia Administración norteamericana reconoce "los costes imprevistos" en forma de reducción en capturas pesqueras, degradación de calidad en las aguas de los ecosistemas fluviales, déficit de arenas en las playas en las costas etc...

Ya en 1994 el señor Daniel P. Beard, Director del Bureau of Reclamation, sin duda la más importante y prestigiada institución pública norteamericana en materia de planificación y gestión hidráulica, en su discurso ante la Comisión Internacional de grandes presas reunida en Durban (Sudáfrica), declaraba ante la sorpresa de muchos delegados de todo el mundo:

"La Agencia Federal de Recuperación de los Estados Unidos (USBR-Bureau of Reclamation) fue creada como un organismo de construcción de obra pública hidráulica. Los resultados de nuestro trabajo son bien conocidos: las presas de Hoover, Glen Canyon, Grand Coulee y otras fueron construcciones monumentales que son motivo de orgullo para nuestro país y nuestros empleados. Sin embargo en los últimos dos años hemos llegado a la conclusión de que debemos efectuar cambios significativos en el programa de la USBR.

Una premisa para nuestro programa fue que los costes de los proyectos fueran reembolsados. Ahora nos hemos dado cuenta que los costes de construcción y operatividad de proyectos de gran envergadura no pueden recuperarse... Con el tiempo, nuestra experiencia práctica nos ha dado una apreciación más clara sobre los impactos medioambientales de los proyectos de gran envergadura que desarrollamos. Fuimos lentos en reconocer estos problemas, y aún estamos aprendiendo cuán agresivos son y como corregirlos. También nos hemos dado cuenta de que existen diferentes alternativas para solucionar los problemas de uso del agua, que no implican necesariamente la construcción de presas. Las alternativas no estructurales son a menudo menos costosas de llevar a cabo y pueden tener un menor impacto ambiental... El resultado ha sido que la época de construcción de presas en los EE.UU. ha tocado a su fin...".

Citaremos en esta línea, y de forma específica en lo referente a los impactos sobre las pesquerías, la siguiente referencia de L.Pottinger:

"Ahora estamos gestionando nuestras presas de otra forma, dejando más caudales para usos ambientales en un esfuerzo por frenar los nuevos impactos sobre los ecosistemas y preservar las valiosas pesquerías al tiempo que nos disponemos incluso a quitar algunas presas obsoletas, aunque hacerlo sea costoso. Hoy se tiende a parar la construcción de nuevas presas. Es muy difícil hoy plantear proyectos destructivos en los ríos de EE.UU." (Pottinger, IRN).

Problemas en la gestión del embalse

Un problema que a largo plazo será muy serio es el de la acumulación de sedimentos en el embalse, lo que produce su progresiva colmatación y la correspondiente disminución de capacidad de regulación.

Otro problema sumamente relevante de notable prioridad para Egipto es el de la evaporación de las aguas del Lago Nasser. Según las estimaciones del gobierno egipcio, las pérdidas a causa de la evapora-

ción y de la filtración son de 10 mil millones metros cúbicos por año; según estimaciones no oficiales, estas pérdidas llegan a ser en algunas circunstancias de hasta 18 mil millones de metros cúbicos.

Cada vez toma mayor relevancia a nivel internacional, en materia de grandes presas, la cuestión de los riesgos y la seguridad. En caso de catástrofe, el embalse de Aswán se puede liberar 162.000 millones de metros cúbicos de aguas, lo que conduciría a una catástrofe humana sin precedentes. Una de las capitales más poblada del mundo, el Cairo de 17 millones habitantes, quedaría arrasada.

En los últimos tiempos se vienen estudiando los riesgos de desestabilización sísmica del área. La posibilidad de que el peso del embalse provoque movimientos bajo la tierra (underlying) amenazan incluso la seguridad de la propia presa. Este efecto se llama *reservoir - triggered seismicity*.

Hoy cuando menos se sospecha que este efecto fue el culpable de varios desastres en el pasado. Hay dos casos, que merece la pena mencionar: uno fue Xinfengjian cerca de Cantón en China, otro el de El Koyna cerca Poona en la India. En Xinfengjian, un embalse parecido al de Aswán, fue sacudido en 1961 por un terremoto de magnitud de 6,1. La Presa de El Koyna fue destruida en 1967 por una sacudida de magnitud de 6,5.

En Egipto, en 1981, se sufrió un seísmo corto de magnitud de 5,3. Su epicentro estaba justo a 55 kilómetros de la Gran Presa de Aswán y a 10 kilómetros del embalse (Werner, 1997).

Impactos culturales

La presa de Aswán causó la destrucción de importantes tesoros arqueológicos en la región, y arruinó muchos paisajes en Egipto. La zona del lago era rica en ruinas de las anteriores civilizaciones desde el periodo paleolítico. Algunas, como el templo de Abu Simbel y el templo de Kalbasha, fueron rescatadas por la UNESCO, pero muchos otros tesoros culturales se per-

dieron o resultaron seriamente dañados (Kasr Ibrim, antigua fortaleza faraónica, los templos de Addar y Amda...).

El río Jordán y el impacto de sus derivaciones en el Mar Muerto

Al igual que en otras zonas del mundo, como es el caso del Mar de Aral, en el río Jordán, la derivación de la mayor parte de sus aguas en la cuenca alta ha provocado una importante disminución del nivel del Mar Muerto.

Hidrografía de la cuenca del río Jordán

El río Jordán es el más pequeño de los tres principales ríos de Oriente Medio: Jordán, Nilo y Eufrates-Tigris. Sus países ribereños son cinco: Líbano, Siria, Jordania, Palestina y Israel. El Jordán se forma por la confluencia de tres grandes ríos: Banyas, Hasbani y Dan que fluyen desde Siria (los Altos del Golan), el sur del Líbano, y el norte de Israel respectivamente. Fluye hacia el sur para desembocar en el lago Tiberiades/Kineret/Mar Galilea. Cerca de diez kilómetros aguas abajo, el río se une con su afluente más grande: El Yarmuk, que fluye desde Siria y forma frontera con Jordania. Con el Yarmuk y otros pequeños riachuelos se forma el Bajo Jordán que finalmente desemboca en el Mar Muerto. Tiene una superficie de drenaje de unos 18300 kilómetros cuadrados y unos 360 Km desde su cabecera hasta la desembocadura en el Mar Muerto (cerca de 400 metros bajo el nivel del mar).

Lago Tiberiades/Kineret/Mar Galilea

Es el único lago de aguas dulces en el mundo que se sitúa a 210 metros bajo el nivel del mar. A este lago entran anualmente más de 900 millones metros cúbicos. El volumen de evaporación oscila ente 270-300 millones de metros cúbicos. Los caudales del río Jor-

dán que desembocan actualmente en el lago son de 580 – 600 millones metros cúbicos (Soffer, 1999).

Durante el periodo de 1921 – 1945 los caudales del Jordán que salían del lago hacia el Mar Muerto eran cerca de 675 millones metros cúbicos por año. Actualmente, debido al bombeo del National Water Carrier y al riego en la zona del lago, tales caudales han bajado hasta una media de 69 millones metros cúbicos por año. Las aguas del Jordán tienen un alto nivel de salinidad, especialmente en la parte baja del río. En el sur del lago de Tiberiades el nivel de salinidad es de 340 ppm (partes por millón) en comparación con 120 ppm en media de los ríos del mundo (Farinelli, 1997).

En 1933, antes de la construcción de presas y canales sobre el Jordán, con los correspondientes bombeos y derivaciones, el río transportaba cerca de 1.200 millones metros cúbicos de aguas al Mar Muerto. En 1988, que fue un año seco, sólo entorno a 80 millones metros cúbicos llegaron al Mar Muerto. Actualmente en un año medio llegan cerca de 200 millones metros cúbicos de aguas de mala calidad. Ello es debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.

Proyectos de derivación de las aguas del Jordán

Existen multitud de obras y proyectos que explotan los recursos del Jordán y del Yarmuk, pero destacaremos dos: el National Water Carrier y el East Ghor Canal.

National Water Carrier de Israel

Aunque la idea de derivar aguas del Jordán es muy anterior, los principales proyectos se pusieron en marcha en los años 40. El National Water Carrier, cuya construcción empezó en 1953 y terminó en 1964, es un proyecto que supone un complejo sistema de canales, tuberías y túneles para transportar aguas desde el lago Tiberiades a la costa de Israel y al desierto del Negev. Actualmente Israel controla todos los afluentes

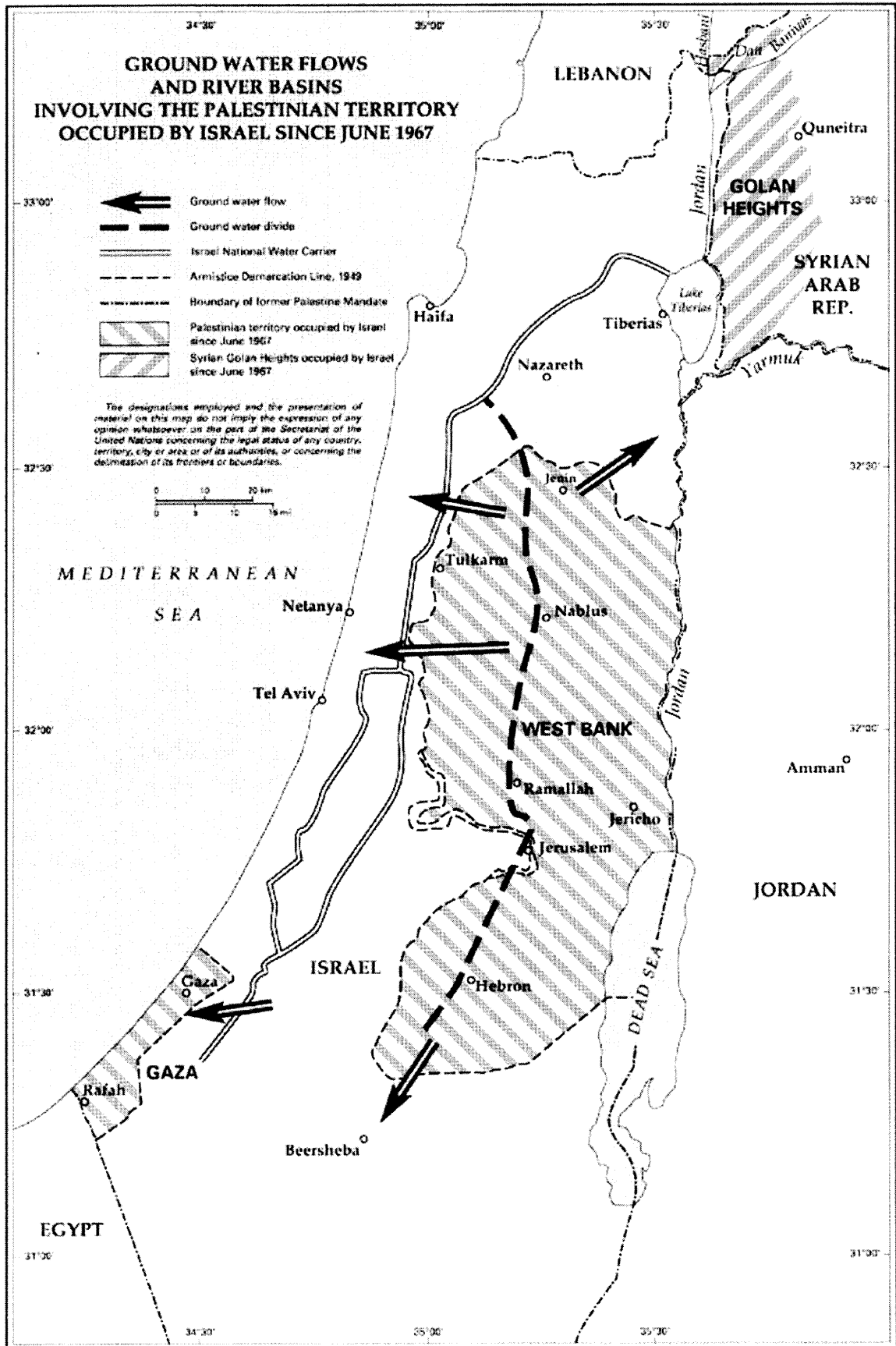


Figura 2. La Cuenca Hidrográfico del Jordán.

en los Altos del Golan de la cuenca alta desde la guerra de seis días en 1976, siendo la cuestión del agua una de los fundamentales en el conflicto que queda por resolver.

Fue el primer gran sistema de derivación de aguas de la cuenca en la región. A pesar de la cota del lago Tiberiades, 210 metros bajo del nivel del mar, las condiciones geopolíticas en la zona obligaron a Israel a derivar las aguas desde la esquina noroeste del lago. En principio los Israelitas quisieron que el canal partiera en el sur del Valle Huleh al norte del lago, pero los sirios rechazaron esta idea. La ubicación en el lago del punto de derivación supuso duplicar costes al tiempo que empeoró la calidad de los caudales extraídos. De haberse derivado del río directamente, las aguas sería menos salinas y no se requerirían los bombeos que exige la baja cota del lago (Farinelli, 1997).

El canal puede transportar más de un millón metros cúbicos por día. El transporte de las aguas aumentó gradualmente desde 195 millones metros cúbicos en 1965 a una media de 350 millones metros cúbicos por año en los años setenta. En los ochenta el canal transportó entre 420 y 450 millones metros cúbicos. Además de estas masivas derivaciones, se estima que son detraídos, tanto en el Alto Jordán, como en el lago Tiberiades, del orden de otros 100 millones metros cúbicos por año. Todo ello sumado, supone la práctica totalidad del Alto Jordán (Libiszewski, 1995).

East Ghor Canal de Jordania

Por otro lado, Jordania tomó interés en aumentar la superficie de regadíos en la parte baja del río Jordán. Por ello construyó el East Ghor Canal que fue puesto en marcha en los sesenta usando aguas del Río Yarmuk. El canal tiene una capacidad de 20 metros cúbicos por segundo y una longitud de 125 kilómetros. Suministra aguas a 22 mil hectáreas de regadíos al tiempo que cubre las demandas de Aman (Kally, 1993). La derivación de la mayor parte del

Yarmuk al canal y el bombeo del resto al lago de Tiberiades ha provocado la disminución total del Bajo Jordán.

Otros posibles proyectos

Al igual que en otras partes del mundo, existe la idea de que las aguas que llegan al Mar Muerto son "caudales perdidos". Por ello se ha tenido a crear proyectos que detraigan para unos usos u otros esos caudales antes de llegar al Mar Muerto. Una posibilidad considerada sería hacer una gran presa en el río Yarmuk en Maqarín. Otra opción pasaría por un trasvase del Yarmuk al lago de Tiberiades que haría las funciones de regulación correspondientes, tanto del Alto Jordán como del Yarmuk (Soffer, 1999).

El Mar Muerto

Hoy en día el Mar Muerto está en peligro debido a una gestión nacionalista unilateral, que se demuestra insostenible. Los más importantes proyectos que han motivado esta situación son: el drenaje de las llanuras de Huleh en el norte del lago de Tiberiades, la construcción del National Water Carrier, el East Ghor Canal usando las aguas del Yarmuk y otros proyectos. La derivación de la mayor parte de los caudales del Alto Jordán ha causado una drástica disminución en el nivel del Mar Muerto.

El nivel del lago Tiberiades ha bajado mucho en los últimos años, mientras el río Bajo Jordán ha llegado a secarse a causa de las derivaciones de aguas del National Water Carrier de Israel y del East Ghor Canal de Jordania. El nivel del Mar Muerto ha bajado de 392 a 407 bajo el nivel del mar durante los últimos veinte años (Farinelli, 1997).

Utilidades y valores ambientales del Mar Muerto a considerar

El Mar Muerto es un mar cerrado. Se sitúa entre

Palestina, Jordania e Israel. Es la depresión más baja de la tierra, está a -395 metros del nivel del Mar Mediterráneo. Tiene una superficie de 1050 Km2 con una longitud de 76 Km., una anchura máxima de 16 Km. y una profundidad de 396 metros. Se alimenta del río Jordán y de otras pequeñas fuentes y riachuelos.

El Mar Muerto forma parte de la falla del valle Afro - Árabe que se formó en la zona hace millones de años. Esta depresión perdió su salida natural al mar y así se convirtió en una depresión cerrada. La alta evaporación concentra su nivel de salinidad, hasta seis veces la de las aguas del Océano (Encyclopaedia of the Orient). Su nombre refleja el hecho de que no hay vida en sus aguas (animal y vegetal) dada su alta salinidad. a excepción hecha de ciertas algas y bacterias que motivan un alto interés entre los científicos.

La extracción de sales ha sido la principal actividad durante siglos dada su abundancia, (sodio, magnesio, potasio calcio y otros). El Mar Muerto es una de las más grandes reservas del magnesio de la tierra, siendo su concentración cerca de 34 veces la existente en un mar ordinario. La siguiente tabla destaca la enorme cantidad de sales en este mar respecto a la generalidad del medio marino.

| ion (g/l) | g ⁺⁺ | a ⁺⁺ | a ⁺ | • | l ⁻ | r ⁻ | O ₄ ⁻ | Total sales | Densidad |
|---------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|----------------|----------------|-----------------------------|-------------|----------|
| Mar Ordinario | ,27 | | 0,7 | ,40 | 1,8 | ,07 | ,42 | 24,7 | 1,09 |
| Mar Muerto | 3,0 | 7,0 | 0,0 | ,5 | 18 | ,0 | ,65 | 331 | 1,22 |

Esta riqueza en sales aumenta la densidad del agua permitiendo al cuerpo humano flotar sin el más mínimo esfuerzo. Esta singularidad ha atraído y atrae mucha gente de todas las partes del mundo. Hoy en día, multitud de turistas van no sólo para visitar este patrimonio natural, sino para disfrutar de las propiedades curativas de estas aguas y lodos, recomendables para algunas enfermedades de piel y huesos.

Estos valores ambientales, con sus enormes potencialidades turísticas, y la explotación de potasas, reclaman hoy una gestión del Jordán que detenga la degradación en curso y permita restituir los niveles de este mar.

Soluciones propuestas para restaurar el nivel del Mar Muerto

El crecimiento rápido de la población, el aumento en las demandas de aguas para satisfacer las necesidades urbanas y de riego, el deterioro de la calidad del agua, la sobreexplotación de las aguas subterráneas, la contaminación del medio ambiente y el conflicto entre los países ribereños ha convertido la gestión de la cuenca del río Jordán en una tarea muy compleja.

Lo que se necesita es una revisión de la gestión de la oferta y de la demanda en la región, ya que la competición sobre el acceso a las aguas en la cuenca provoca graves conflictos entre los países ribereños.

Dos grandes proyectos Med-Dead y Red-Dead fueron propuestos por Israel y Jordania respectivamente para transportar aguas del Mar Mediterráneo o el Mar Rojo hasta el Mar Muerto explotando la diferencia de nivel para la producción de energía hidroeléctrica. La idea es reemplazar las aguas dulces que desembocan en el Mar Muerto, por aguas marinas del Mediterráneo y/o del Mar Rojo.

La idea del proyecto de Israel, el canal Med-Dead, es traer aguas del Mar Mediterráneo al Mar Muerto. El objetivo principal es explotar la diferencia en el nivel del Mediterráneo y el Muerto (-400) para generar la energía hidroeléctrica, restaurar el nivel del Mar Muerto y compensar la evaporación del lago. El proyecto rellenaría el lago a su nivel histórico de los años treinta durante un periodo de 10-20 años. Después de 20 años cuando el nivel se haya recuperado y la tasa de evaporación queda compensada, los caudales se reducirán.

La propuesta de los Jordanos es la misma pero trayendo aguas del Mar Rojo al Mar Muerto. El proyecto se conoce por el canal Red-Med. Según este proyecto el agua se bombea del Mar Rojo en Aqaba a una altura de 220 metros y luego desde este punto, fluiría por un túnel a través de las montañas de la falla del Valle

Jordán, a largo de 200 kilómetros antes de desembocar en el Mar Muerto.

Las investigaciones sobre las consecuencias de la mezcla entre las aguas del Mar Mediterráneo y el Mar Muerto demostraron que los procesos de cristalización y nucleación causan la formación de enormes cantidades de yeso en las aguas. Esto puede alterara el balance químico del Mar Muerto, rompiendo esa especificidad excepcional que motiva gran parte de atractivo turístico, así como sus propiedades balnearias y curativas.

Además de estos problemas ambientales, los proyectos han fracasado de demostrar su viabilidad económica.

Otra alternativa que se baraja es el trasvase de aguas desde Turquía liberando caudales en el Jordán actualmente detraídos.

Conclusiones

Hoy en día está a debate la vigencia y sentido de las grandes presas como claves de desarrollo, en la medida que se empiezan a conocer y valorar sus enormes impactos socioambientales. La construcción de la Gran presa de Aswán es en este sentido una de las referencias más polémicas de este debate sobre la que confluyen esfuerzos valorativos y estudios científicos a nivel nacional e internacional. En principio este ambicioso proyecto se justificó, y se justifica, como el remedio de la sociedad egipcia para controlar las inundaciones, aumentar la superficie de riego y generar la energía hidroeléctrica que el país necesita para su desarrollo. Pero hoy en día las consecuencias han sido más graves de lo que nadie podía imaginar en lo que se refiere a los problemas ambientales. La presa ha retenido no sólo las aguas, sino también los sedimentos y nutrientes que enriquecían las tierras egipcias y fertilizaban el Mar Mediterráneo.

No cabe la menor duda de que Aswán ha promovido y permitido en buena medida el desarrollo de Egipto actual. Pero el proyecto fue más costoso de lo que se

esperaba, recortando los beneficios previstos. A la hora de planificar la presa, no se tuvo en cuenta su impacto sobre la fertilidad del mar mediterráneo, lo que ha supuesto de hecho un drástico declive en la pesca de sardina en la región. Además, la presa ha retenido casi todos los sedimentos que fertilizaban el delta y las llanuras de inundación, lo cual ha puesto por otro lado al delta en peligro de desaparición ante la erosión costera.

El empobrecimiento de los campos, al no recibir los sedimentos ricos en materia orgánica de las inundaciones, ha forzado a emplear fertilizantes artificiales, lo cual, a su vez, ha favorecido procesos de salinización en los suelos.

Otro impacto a considerar también es el generado en la industria de ladrillos.

Los impactos son de tal envergadura que hoy se presupuestan y gastan millones de dólares para investigar las consecuencias ambientales sobre los ecosistemas del río Nilo, de sus entornos y de las plataformas costeras.

Ciertamente, desde los nuevos enfoques de política de aguas vigentes en EEUU e incluso en Europa, sería improbable la construcción de presas como la de Aswán. Hoy, ante las realidades consumadas, el problema se centra en rediseñar la gestión de este tipo de grandes sistemas de regulación incorporando la necesaria consideración de las funciones y servicios ambientales generados por los ecosistemas, investigando las posibilidades de recomponer su funcionalidad en la medida de lo posible. Hoy parece evidente que Egipto debería pensar en un nuevo modelo de gestión que deje fluir más caudales hacia el mar. Otra clave en forma de reto es sin duda, al igual que en gran parte de las presas del mundo, la gestión de los sedimentos retenidos en el embalse.

En definitiva el reto del Desarrollo Sostenible en un país con 64 millones de habitantes en una zona desértica, ciertamente no es cuestión sencilla cuando de gestión de aguas se está hablando.

En el caso del Mar Muerto, las derivaciones de las

aguas del Jordán mediante los dos grandes canales National Water Carrier y East Ghor Canal han provocado de hecho una importante disminución del nivel de sus aguas, lo que ha puesto en peligro la singularidad de este mar así como sus utilidades turísticas y la explotación de potasas.

Actualmente, las pretendidas soluciones de la restauración de los niveles del Mar Muerto suelen estar basadas en la generación de nuevos caudales disponibles desde el lado de la oferta. Sin embargo sería preciso, y prioritario, recoger los enfoques dominantes en casos similares en EE.UU. (Mono Lake, Salton Sea), que, al igual que los nuevos criterios de la Directiva de Marco de Aguas en la UE, priorizan estrategias de gestión de la demanda, no sólo incentivando la eficiencia en los usos, sino moderando el crecimiento de dichas demandas desde las adecuadas políticas de precios. En último instancia es preciso llegar a plantearse el problema de fondo con claridad: diseñar planes de ordenación territorial consistentes con las limitaciones y criterios que impone el desarrollo sostenible y seguir pivotando sobre estrategias de "oferta" no sólo desembocando en graves impactos ambientales, sino en la irracionalidad económica, al tiempo que alimenta en esa espiral de insostenibilidad, la conflictividad política que en esta zona del mundo puede desembocar en nuevas guerras.

Referencias bibliográficas

- Allan, J.D. 1998. El Régimen Natural de los ríos. Un Paradigma para su conservación y Restauración. En: El Agua a Debate desde la Universidad: Hacia una Nueva Cultura del Agua. Celebrado 14-18 de Septiembre de 1998 en Zaragoza. Publicación de la Institución "Fernando el Católico" - Zaragoza, Spain, 888 Pág.
- Comisión de las Comunidades Europeas (1999). Propuesta de la Directiva Marco de Aguas, en tramitación en la UE. Bruselas, UE.
- El-Sayed, S.Z. y van Gert L., v.D. 1995. The southern Mediterranean ecosystem revisited: Thirty years after the construction of the Aswan High Dam. *Quarterdeck*. 3(1), 4-7. Department of Oceanography, Texas A&M University.
- Farinelli, X.H. 1997. Freshwater Conflicts in the Jordan River Basin. Green Cross International.
- International Lake Environment Committee Foundation for sustainable Management of world lakes & reservoirs (ILEC, 1995). Aswan High Dam Reservoir. ILEC, Japan.
- Kally, E. y Gideon, F. 1993. Water and Peace: Water Resources and the Arab-Israeli Peace Process. Armand Hammer Fund for Economic Cooperation in the Middle East, Tel Aviv University, Tel Aviv - Israel.
- Kjeilen, T. Dead Sea (al-bahru l-mayyit)(Arabic). *Encyclopaedia of the Orient*.
- Libiszewski, S. 1995. Water Disputes in the Jordan Basin Region and their Role in the Resolution of the Arab-Israeli Conflict. Environment and Conflict Project (ENCOP), Occasional Papers, N° 13. Bern: Swiss Peace Foundation; and Zurich: Swiss Federal Institute of Technology. 106 pp.
- Penvenne, L.J. 1996. Disappearing Delta. *American Scientist*, Volume 84, No. 5.
- Pottinger, L. The Environmental Impacts of Large Dams. International Rivers Network (IRN), Berkeley, USA.
- Soffer, A. 1999. Rivers of Fire: The Conflict over Water in the Middle East. Rowman & Littlefield Publishers, INC., Lanham, Maryland, USA, 303pp.
- Think Quest Team. 1998. The Living Africa: The Land – The Nile River.
- Wentworthe, T.R. 1998. Why & How to Study Ecology. Lectura de la Asignatura BO360 impartida durante el semestre de Primavera en College of Agriculture & Life Sciences en NC State University, USA.
- Werner, L. 1997. Dam Safety. *Scientific American: Technology and Business*. No. 7.
- Worster, D. 1985. A Short History of Rivers: Rivers of

| | |
|--|--|
| <p>Empire. in <i>Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams</i>. International Rivers Network (IRN), Berkeley, USA.</p> <p>World Resources Institute (WRI), <i>World Resources 1998-1999. Resources at Risk: The Decline of</i></p> | <p><i>Freshwater Ecosystems</i>, WRI, Washington, USA.</p> <p>World Resources Institute (WRI), <i>World Resources 2000-2001: People and Ecosystems: The Fraying Web of life</i>, WRI, Washington, USA.</p> |
|--|--|

Los recursos hídricos de las cuencas españolas

■ *Martínez Crespillo, M.; Legua Murcia, P.; Hernández García, F.*

En este texto se analizan los recursos hídricos en España. La problemática de su evaluación y se da una visión general sobre los recursos hídricos en régimen natural en las cuencas españolas. Finalmente se describen los recursos regulados superficialmente, los explotados subterráneamente y los recursos no convencionales.

Para la elaboración de este texto se ha utilizado información procedente del Libro Blanco del Agua en España, publicado por el Ministerio de Medio Ambiente.

Introducción

Los recursos naturales generados intermitentemente en un territorio cualquiera son los que se producen a partir de la precipitación, y en concreto, comprenden la escorrentía superficial directa y la recarga a los acuíferos. Estos recursos no tienen por qué coincidir exactamente con la aportación de la red fluvial, dado que pueden producirse transferencias superficiales y subterráneas desde o hacia otros territorios. Un caso particular de territorio lo constituye la cuenca hidrográfi-

ca, cuya peculiaridad radica en que no recibe, en régimen natural, transferencias superficiales y las que recibe subterráneamente suelen ser, en general, poco importantes.

Este esquema conceptual permite plantear el concepto de balance hídrico para un territorio cualquiera, que no necesariamente ha de ser una cuenca hidrográfica.

Habitualmente se admite que los recursos hídricos de una cuenca coinciden con los recursos totales (superficiales y subterráneos) renovables, es decir, con los resultantes del balance medio a largo plazo de su territorio. Además de estos recursos renovables, en esa cuenca puede haber acuíferos con reservas muy importantes de agua almacenados en ellos, y que pueden tardar decenas o cientos de años en renovarse. En el régimen natural, tales reservas han de considerarse como un almacenamiento permanente, y no como un recurso renovable. En regímenes afectados tales reservas podrían permitir una mayor disponibilidad temporal de agua durante un tiempo limitado, pero no incrementarían los recursos de forma permanente.

Conviene volver a incidir que los párrafos anterior-

res se refieren al régimen natural del ciclo del agua, que correspondería a una situación hipotética sin la existencia del ser humano. Sin embargo, en la realidad, la acción antrópica ha producido una serie de transformaciones sobre el territorio que han dado lugar a un ciclo hidrológico que resulta, en muchos casos, completamente distinto del que se produciría en el régimen natural.

Algunas de esas alteraciones son los embalses de regulación, los pozos, las centrales térmicas, el agua aplicada para los regadíos, el agua detraída para el abastecimiento de la ciudad, etc.

Con carácter general puede decirse que el objetivo de la evaluación de recursos hídricos de un territorio es conocer los flujos y almacenamientos del ciclo del agua tanto en la situación real de régimen afectado, como en la correspondiente al régimen natural. Que es la que interesa conocer antes de analizar el efecto de las regulaciones, derivaciones, retornos, etc. Sobre los regímenes hidrológicos.

La evaluación de recursos hídricos en régimen natural es una tarea compleja que técnicamente aún no está definitivamente resuelta. Debe apoyarse en los datos registrados en las estaciones de aforo, que en la mayoría de las ocasiones miden regímenes alterados, y en la utilización de otros métodos indirectos. Tal y como se verá a continuación.

Evaluación de los recursos en régimen natural

La restitución de los caudales de los ríos consiste en estimar su régimen natural a partir del régimen alterado, que es el que puede observarse y medirse. Para ello se necesita disponer de información temporal sobre todas las intervenciones humanas significativas que se han producido en la cuenca. La restitución a régimen natural de esos datos, aunque teóricamente es sencilla, en la práctica presenta dificultades, pues no es habitual disponer de suficiente información.

En España se dispone de información sobre caudales históricos de algunos ríos desde mitad del siglo

pasado, aunque las primeras relaciones de estaciones de control, integrantes de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) fueron aprobadas entre 1963 y 1972. La ROEA proporciona información de los datos de niveles y caudales diarios en los ríos, y en los principales embalses y canales. Esta red consta de 1.200 estaciones de aforo en los ríos, de los cuales se encuentran en servicio 800 estaciones. El número de puntos de control en embalses mayores de 10 Hm³ y canales son, respectivamente, del orden de 300 y 180.

La red de medida no cubre todo el territorio y la calidad de los datos es baja. Estas razones junto con el desconocimiento antes mencionado sobre los usos, derivaciones y retornos, hace que en la mayoría de los casos deba también recurrirse a la utilización de métodos indirectos, como son los modelos matemáticos de simulación del ciclo hidrológico, cuya finalidad es reconstruir el régimen hidrológico natural en cualquier punto del territorio a partir de datos meteorológicos, de las características físicas de las cuencas y de los datos registrados en las estaciones de aforo.

Los recursos hídricos en régimen natural en España

La precipitación y la evapotranspiración

La precipitación y evapotranspiración son las dos variables climáticas básicas que, con el control establecido por el terreno, configuran el régimen de las escorrentías de un territorio.

La gran variabilidad espacial entre las precipitaciones en España se comprueba con los valores de precipitación varía mucho desde el máximo de unos 2.500 mm registrado en la Sierra de Grazalema (Cádiz) y los más de 1.200 mm en zonas del Norte de España, a los menos de 300 mm en Canarias o amplias zonas del Sureste español. La media del territorio español es del orden de 680 mm y su distribución intraanual, a escala mensual, se muestra en la Figura 1, en la que se ve que el mes más lluvioso es el de diciembre y el menos lluvioso el de julio.

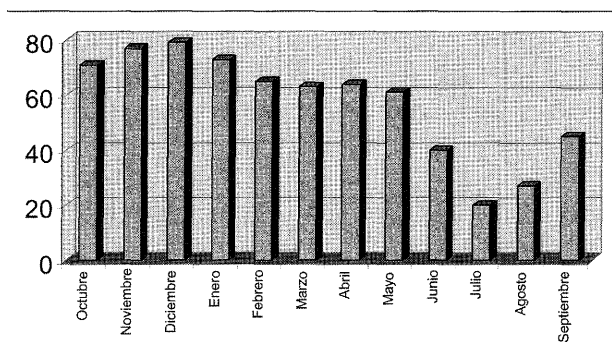


Figura 1. Distribución mensual de la precipitación media en España (en mm/mes).

A esta gran variabilidad espacial de las precipitaciones se le añade también una gran irregularidad temporal, que hace que en un mismo punto, como por ejemplo las precipitaciones anuales producidas estación meteorológica más antigua de España, la de San Fernando en Cádiz, donde se hayan registrados valores anuales desde 1.805 hasta 1995, los cuales varían entre 300 y más de 1.200 mm.

La evapotranspiración potencial (ETP) media anual en España es de aproximadamente 860 mm. Pero la evapotranspiración real (ET) es bastante menor, del orden de 460 mm, al no darse siempre las condiciones de humedad en el suelo para que se produzca la evapotranspiración a su tasa potencial.

Las aportaciones naturales

Las cifras publicadas más recientes son las procedentes de los planes de cuenca, que corresponden, con carácter general, al periodo comprendido entre los años hidrológicos 1940/1941 y 1985/1986. Esta evaluación es la que se ha adoptado como referencia en el presente texto.

Como puede comprobarse en la Figura 4, la aportación total anual, para toda España es del orden de 114.000 Hm³/año, variando enormemente de unas cuencas a otras, con valores entre los aproximadamente 18.000 Hm³/año del Ebro y los mínimos entre 500 y 1.000 de las islas y el Segura.

La consideración de las escorrentías, aportación total dividida por el área de la cuenca, permite suprimir

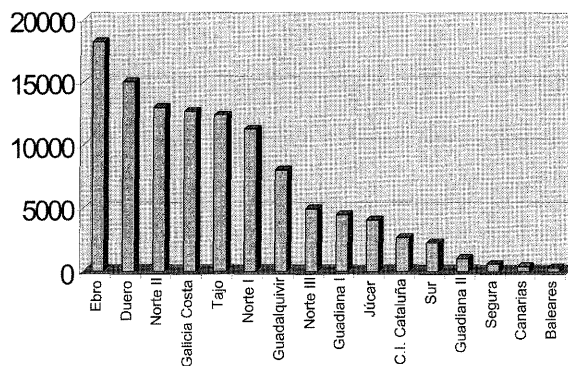


Figura 2. Aportación total en régimen natural (Hm³/año) según el PHC.

el efecto del tamaño de cuenca y proporciona una mejor idea de la irregularidad de las aportaciones en las distintas cuencas (Figura 3).

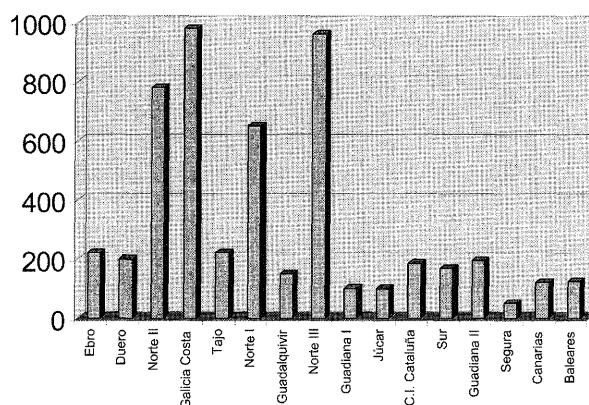


Figura 3. Escorrentía total en régimen natural (mm/año) según PHC.

La menor escorrentía de España se produce en la Cuenca del Segura, con unos 50 mm/año, cifra 5 veces inferior a la media que se sitúa en 220 mm/año.

Esas escorrentías totales constan, como ya se mencionó con anterioridad, de una componente de escorrentía superficial directa y de una componente de origen subterráneo, la cual se describe a continuación.

La recarga de los acuíferos

El conocimiento de la recarga a los acuíferos resulta de gran interés teórico y práctico, pues viene a acotar las posibilidades máximas de explotación sostenible de las aguas subterráneas de un acuífero.

El total de la recarga natural media anual (por lluvia e infiltración en cauces) en el conjunto de todas las

unidades hidrogeológicas delimitadas en España es, según los Planes de cuenca del orden de 21.000 Hm³/año (ver Tabla 1).

En la Figura 4 se muestran los porcentajes que representan las recargas naturales respecto a las aportaciones totales en cada ámbito territorial. Para toda España esa fracción es del 18% de la aportación total, con valores que varían entre más del 65% (Segura, Júcar e islas) y menos del 15% (Norte III, Duero, Tajo y Guadiana).

La mayor parte del agua que recarga los acuíferos acaba drenando a los ríos y manantiales de forma

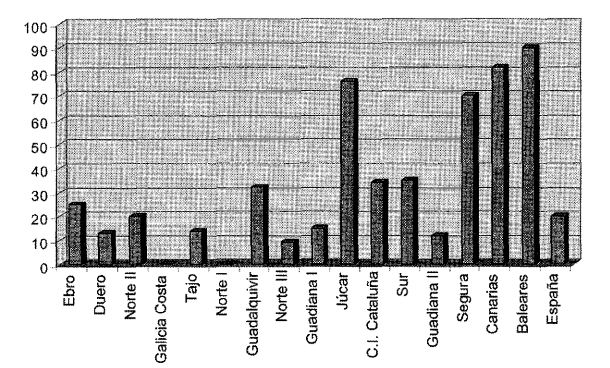


Figura 4. Fracción de la recarga natural respecto a la aportación total en régimen natural según PHC.

diferida en el tiempo. En el caso de los acuíferos costeros una parte de su recarga sale directamente al mar.

Un trabajo reciente (DGOH, 1995) las estima en unos 1.000 Hm³/año, con la distribución por ámbitos que se muestra en la Figura 5. El valor de las cifras representadas en la figura no es otro que el de centrar el orden de magnitud del problema, dado que no se dispone de datos que permitan cuantificar con suficiente precisión las transferencias subterráneas de agua dulce al mar.

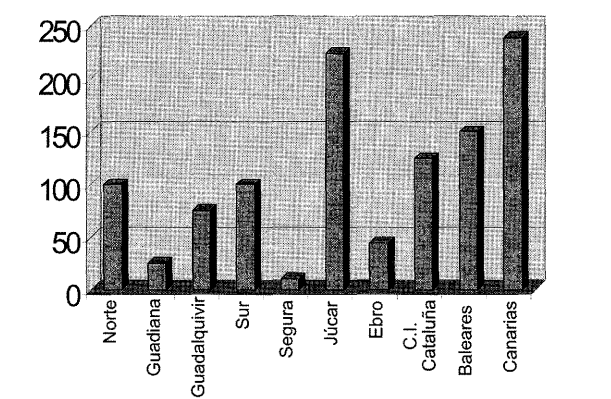


Figura 5. Salidas subterráneas al mar. Fuente: DGOH.

Tabla 1

Recarga y transferencia de agua en las unidades hidrogeológicas en los distintos ámbitos de la planificación.

Fuente: (MOPTMA-MINER, 1994)

| Ámbito de planificación | Recarga por lluvia y cauces (hm³/año) | Recarga por riegos (hm³/año) | Transferencias de otras unidades (hm³/año) | Transferencias a otras unidades (hm³/año) |
|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--|---|
| Norte I | - | - | - | - |
| Norte II | 2.587 | 0 | 94 | 34 |
| Norte III | 410 | 0 | 0 | 0 |
| Duero | 1.840 | 1 | 249 | 383 |
| Tajo | 1.565 | 0 | 0 | 0 |
| Guadiana I | 646 | 20 | 60 | 60 |
| Guadiana II | 141 | 0 | 0 | 0 |
| Guadalquivir | 2.573 | 16 | 27 | 70 |
| Sur | 865 | 69 | 107 | 31 |
| Segura | 665 | 83 | 44 | 0 |
| Júcar | 3.011 | 480 | 514 | 468 |
| Ebro | 4.433 | 586 | 19 | 25 |
| C.I. | 938 | 45 | 65 | 54 |
| Cataluña | - | - | - | - |
| Galicia | - | - | - | - |
| Costa | - | - | - | - |
| Baleares | 508 | 69 | 26 | 23 |
| Canarias | 681 | 0 | 0 | 0 |
| España | 20.861 | 1.369 | 1.205 | 1.147 |

Los recursos disponibles en España

Todo lo comentado hasta ahora se ha referido a los recursos en régimen natural. La irregularidad temporal de los recursos naturales impiden que puede ser aprovechados en la satisfacción de las diferentes necesidades de agua, de forma que los recursos realmente disponibles son muy inferiores a los naturales.

El concepto de recurso disponible esta ligado a las posibilidades de movilización de los recursos naturales. En la práctica, la movilización y consiguiente disponibilidad de los recursos puede obtenerse mediante diversos procedimientos, entre los que cabe citar:

- Captación directa de una parte del caudal regulado de forma natural: toma directa de un río o captación de agua subterránea.

- Transformación de una parte del caudal natural más o menos irregular en una reserva para su utilización posterior: regulación de un río por medio de un embalse o recarga artificial de un acuífero.

- Obtención de un caudal a partir de una reserva natural preexistentes: aprovechamiento del agua de un lago o extracción de las reservas de agua subterránea, renovables o no.

Los recursos regulados en régimen natural

El concepto de recurso regulado en régimen natural está estrechamente relacionado con el caudal de base de los ríos que, en España, depende fundamentalmente de las aportaciones subterráneas debidas al drenaje de los acuíferos y, en menor medida, del deshielo.

Es habitual interpretar estos recursos como aquellos que, en ausencia de infraestructuras de almacenamiento, podrían ser utilizados para satisfacción de las demandas. Puesto que en países como el nuestro ya existen muchas obras de regulación superficial y captaciones subterráneas, los recursos regulados de forma natural no son más que un concepto teórico, pero que

resulta útil fundamentalmente a efectos comparativos, y como indicador de la irregularidad hídrica.

Para la estimación de estos recursos es preciso definir previamente la variación estacional de las demandas y las garantías exigidas a su suministro. Tradicionalmente se han considerado dos tipos de modulación de la demanda: uno con distribución uniforme a lo largo del año, asimilable a la variación habitual de las demandas de abastecimiento a poblaciones estables, y otro variable, con el máximo en los meses de verano asimilable a las demandas de riego.

En MOPU (1980) se estimó la regulación natural en 9.150 Hm³/año para demandas uniformes y en 4.445 Hm³/año para demandas variables de riego. Estas cifras ponen de manifiesto que sólo una pequeña fracción de los recursos naturales totales, del orden del 8% en las hipótesis más favorable, podría ser aprovechada en la satisfacción de las diferentes necesidades de agua si no se alterase artificialmente el régimen natural.

Los recursos regulados con la infraestructura actual

La mayoría de las estimaciones proporcionan unos recursos disponibles totales para España similares, del orden de 45.000 Hm³/año, lo que representa el 40% de los recursos naturales. Sin embargo, en el ámbito de algunos Planos de cuenca (Figura 6) estas diferencias son más acusadas, como consecuencia de la diversidad de criterios.

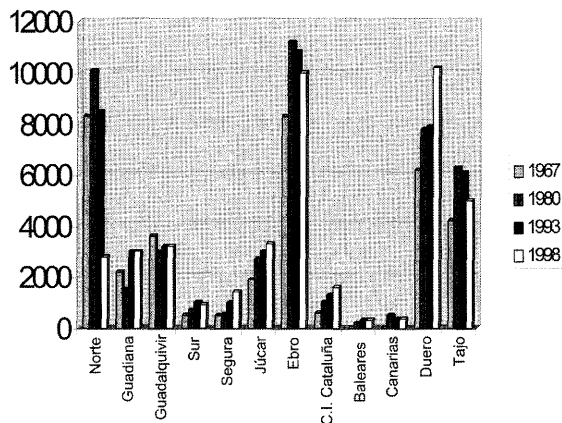


Figura 6. Distintas estimaciones de los recursos hídricos disponibles en España.

La explotación de las aguas subterráneas

Las aguas subterráneas suministran una porción importante de las demandas consuntivas en España, explotándose del orden de 5.400 Hm³/año, tal como se muestra en la Tabla 2.

Si se analiza la tabla anterior se observa que en el ámbito del Guadiana I las extracciones son, en valor medio para el ámbito, superiores a la recarga natural, lo que revela una grave insostenibilidad global. En el Segura, la relación supera el 70%, y en otros ámbitos, como los del Guadiana II, Sur, Júcar, C.I. Cataluña y las islas, esta relación alcanza valores elevados, entre el 40% y el 60%.

En cuanto a la cantidad relativa de bombeos en cada ámbito destaca muy singularmente la cuenca del Júcar, donde se concentra el 26% de toda España, seguida por el Guadiana I, Segura y Guadalquivir, con cifras del orden del 10%.

Como es obvio, estos datos que se ofrecen pueden englobar situaciones locales muy diversas, pues es posible que haya graves sobreexplotaciones locales con ratios/recarga globales muy pequeños, y, a la inversa, no haber ninguna sobreexplotación con un ratio global muy proximidad a la unidad.

Los recursos no convencionales

El concepto de convencionalidad de los recursos ésta asociado al estado de las tecnologías existentes en cada momento. En la actualidad se suelen denominar recursos convencionales los regulados superficialmente mediante embalses y los explotados desde aguas subterráneas. Por el contrario, los recursos no convencionales serían los obtenidos mediante el desarrollo de técnicas más o menos novedosas. Suelen considerarse como tales la recarga artificial de acuíferos, la reutilización directa de aguas residuales, la desalación de agua marinas y salobres, etc.

La recarga artificial de acuíferos permite incremen-

tar el grado de garantía y disponibilidad de los recursos hídricos, y actuar sobre su calidad. Con esta técnica no cabe esperar que se consiga un aumento significativo de recursos en el país, aunque si es posible que se resuelvan algunos problemas locales, mejorando su garantía de suministro.

La reutilización es un componente intrínseco del ciclo del agua, ya que mediante el vertido de efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante, las aguas residuales han venido siendo reutilizadas tradicionalmente por tomas aguas abajo del punto de incorporación al cauce. Es importante distinguir entre reutilización indirecta, que es la mencionada y la más común, y reutilización directa, que es aquella en que el segundo uso se produce a continuación del primero, sin que entre ambos el agua se incorpore a ningún cauce público.

Además de las frecuentes reutilizaciones indirectas, en España existen en la actualidad identificadas más de 100 actuaciones de reutilización directa, siendo uno de los países más desarrollados en este campo. Estas actuaciones permiten atender una demanda de unos 230 Hm³/año.

Otra técnica de incremento de las disponibilidades usualmente consideradas como no convencional es la desalación del agua. En conjunto la desalación de agua de mar y salobre en España supone actualmente una aportación al ciclo de unos 222 Hm³/año, lo que coloca a España en el primer lugar de Europa, con un 30% del total instalado.

Síntesis y conclusiones

La evaluación de los recursos naturales a partir de los registros obtenidos en las redes de aforo no es tarea sencilla, ya que estos datos incorporan la alteración del régimen natural producida por los caudales retraídos a los ríos, los bombeos de los acuíferos, los retornos de riego y abastecimiento o la propia gestión de las infraestructuras hidráulicas. Una muestra de las dificultades de esta evaluación es que

Tabla 2

Explotación de las aguas subterráneas por ámbitos de planificación.

Fuente: Planes Hidrológicos de cuenca y Libro Blanco de las Aguas Subterráneas

| Ámbito de planificación | Recarga en régimen natural (hm ³ /año) | Bombeo (hm ³ /año) | Porcentaje de bombeo respecto a la recarga natural (hm ³ /año) | Porcentaje de bombeo respecto al total de España (hm ³ /año) |
|-------------------------|---|-------------------------------|---|---|
| Norte I | - | - | - | - |
| Norte II | 2.587 | 19 | 1 | 0,4 |
| Norte III | 410 | 33 | 8 | 0,6 |
| Duero | 1.840 | 371 | 20 | 6,8 |
| Tajo | 1.565 | 164 | 10 | 3,0 |
| Guadiana | 646 | 738 | 114 | 13,6 |
| I | | | | |
| Guadiana | 141 | 76 | 54 | 1,4 |
| II | | | | |
| Guadalquivir | 2.573 | 434 | 17 | 8,0 |
| Sur | 865 | 420 | 49 | 7,8 |
| Segura | 665 | 478 | 72 | 8,8 |
| Júcar | 3.011 | 1.425 | 47 | 26,3 |
| Ebro | 4.433 | 167 | 4 | 3,1 |
| C.I. | 938 | 424 | 45 | 7,8 |
| Cataluña | | | | |
| Galicia | - | - | - | - |
| Costa | | | | |
| Baleares | 508 | 279 | 55 | 5,1 |
| Canarias | 681 | 395 | 58 | 7,3 |
| España | 20.861 | 5.422 | 26 | 100 |

las distintas estimaciones que se han realizado en España a lo largo del tiempo proporcionan valores diferentes.

Los recursos naturales de España ascienden a 114.000 Hm³/año, lo que equivale a una escorrentía de 220 mm/año, y representa aproximadamente una tercera parte del agua que precipita sobre el territorio, 680 mm/año. De esa aportación natural, una fracción próxima al 20% procede de las recargas de los acuíferos de las unidades hidrogeológicas. En algunas cuencas, en las del Júcar, Segura e islas, esa fracción se eleva hasta cifras del orden o superiores al 70%, lo que pone de manifiesto la importancia de los recursos subterráneos en las cuencas con mayores problemas de escasez de recursos hídricos de España.

La irregularidad temporal de los recursos naturales impiden que pueden ser aprovechados en la satisfacción de las diferentes necesidades de agua, de forma que los recursos realmente disponibles son muy inferiores a los naturales. De hecho una sola fracción, constituida por los recursos permanentes y que algunas

estimaciones cifran inferiores al 10% del recurso natural. Una forma de paliar, al menos en parte, esta extrema irregularidad es la adaptación al régimen natural de aportaciones al régimen de demandas por medio de la regulación, almacenando aguas en los embalses en periodos húmedos para utilizarlos en los periodos secos. También la explotación de las aguas subterráneas, algo superior a los 5.000 Hm³/año para el total de España, y su utilización conjunta con las superficiales, permiten la adaptación de los recursos a las demandas.

Existen distintas estimaciones sobre los recursos disponibles en España considerando la infraestructura de almacenamiento superficial y la utilización de las aguas subterráneas. La mayoría de las estimaciones más recientes proporcionan unos recursos disponibles similares, del orden de 45.000 Hm³/año, lo que representa en valor medio el 40% de los recursos naturales.

Otros recursos, denominado no convencionales, concepto dinámico que depende de la tecnología existente y por tanto que evoluciona en el tiempo, están también siendo utilizados. Suelen considerara se como

tales la recarga artificial de acuíferos, la reutilización directa de las aguas residuales, la desalación de aguas marinas y salobres, etc. En la actualidad se estima un volumen disponible de por todos estos conceptos de 500 Hm³/año, aunque está previsto un fuerte aumento en los próximos años.

Bibliografía

CE-MOPTMA, 1993. Inventario de recursos de Aguas Subterránea en España. 1ª fase. Coberturas Temáticas. Comisión Europea-MOPTMA. Contrato n° b4-3040/92/8347. Diciembre 1993.

CEH, 1980. El agua en España. Centro de Estudios Hidrográficos. MOPU.

DGOH, 1995. Estudio de la situación actual y programación de las actuaciones futuras en el ámbito de las agua subterráneas en España. Madrid 1995.

Estrela, T. y Quintas L., 1996. A Distributed hidrological model for water resources assesment in large basins. Proceedings of 1st Intenational Conference on Rivertech 96, IWRA. Vol 2. pp861-868. Chicago, USA, September 1996.

MOPTMA, 1993. Memoria del Anteproyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional, MOPTMA.

MOPTMA-MINER, 1994. Libro Blanco de las Aguas Subterráneas.

MOPU, 1990 Plan Hidrológico. Síntesis de la Documentación básica, MOPU.

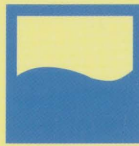
Quintas, L., 1991. La Base de datos Hidrológicos HIDRO del CEDEX. Revista de ingeniería Civil, n° 104, páginas 117-126. CEDEX-Ministerio de Fomento, 1996.

Organiza:



Escuela Politécnica Superior (Universidad Miguel Hernández)
Ctra. de Beniel, Km. 3'2 • 03312 Orihuela (Alicante)

Patrocina:



Aquagest Levante, S.A.

Entidades colaboradoras:



GENERALITAT VALENCIANA
CONSELLERIA DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN



Región de Murcia
Consejería de Medio Ambiente,
Agricultura y Agua



DIPUTACIÓ D'ALACANT



**AYUNTAMIENTO
DE ORIHUELA**



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALENCIA**



**UNIVERSITAS
Miguel
Hernández**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE CARTAGENA**



**UNIVERSIDAD
DE MURCIA**



**Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante**



C.O.I.A. DE LEVANTE Y MURCIA



**CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL SEGURA**



CAM

Caja de Ahorros
del Mediterráneo



**ASOCIACIÓN
VEGA BAJA**

OBRAS SOCIALES